Aus der Prothetischen Abteilung der Klinik und
Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz
Direktor: Prof. Dr. Dr. W. Ketterl

Der „Kalt-Vakuumdruckguß" in der Zahnheilkunde

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Zahnheilkunde
der hohen Medizinischen Fakultät Mainz

vorgelegt von

Joachim Eickhoff
aus Saarbrücken

Mainz 1972

Aus der Prothetischen Abteilung der Klinik und
Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz
Direktor: Prof. Dr. Dr. W. Ketterl

Der "Kalt-Vakuumdruckguß" in der Zahnheilkunde

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Zahnheilkunde
der hohen Medizinischen Fakultät
Mainz

vorgelegt von
Joachim Eickhoff
aus Saarbrücken
Mainz 1972

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. A. Mayet
Referent: Professor Dr. H. Marx
Korreferent: Professor Dr. K. Fuhr
Tag der mündlichen Prüfung: 14.7.72

I N H A L T

A. E I N L E I T U N G 1

B. M E T A L L U R G I S C H E P R O B L E M E 3

I. Das Entstehen von Fehlern und Mißerfolgen bei Metallgüssen 3

1) Korngröße und Kornform 3

2) Legierungssystem, Entmischung, Seigerung 5

3) Schwindung, Lunker, der verlorne Kopf 5

4) Gasblasen 8

5) Fremdeinschlüsse 9

II. Der "Kalt- und Heißguß" 9

1) Kornzahl und Korngröße in Abhängigkeit von der Temperatur der Form 10

2) Abkühlung und Formsandprobleme 12

III. Der Vakuumguß 16

C. E I G E N E U N T E R S U C H U N G E N 23

I. Die zum Vergleich benutzten Gußapparate 23

II. Technische Daten bei der Herstellung der Güsse 25

III. Die Herstellung der Schliffe 27

IV. Die Auswertung der Schliffe mit dem "Quantimet" 30

V. Untersuchungsmethode und Ergebnisse 30

a) Der t-Test 36

b) Die Varianzanalyse 37

c) Der Rangtest nach WILCOXON für unverbundene Stichproben 42

VI. Experimentelle Untersuchungen über die Gasdurchlässigkeit der Einbettmassen: Beauty-Cast und Deguvest HFG 43

D. R E S U L T A T E U N D S C H L U S S - F O L G E R U N G E N 46

E. Z U S A M M E N F A S S U N G 48

F. B I L D T E I L 50

G. A N H A N G 69

H. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S 83

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554401_0031

A. Einleitung

Vor etwa 65 Jahren wurden die ersten Versuche unternommen, Zahnersatz oder Füllungen auf gußtechnischem Wege herzustellen. Erst die Erfindung des Amerikaners TAGGART im Jahre 1907, eine exakte Hohlform zu gewinnen, in die das flüssige Metall eingebracht wird, gab Anlaß zu einer stürmischen Entwicklung von verschiedenen zahnärztlichen Gußmethoden. Die Maschinen unterscheiden sich nach GREVE (10) im Prinzip nach der Art, wie das flüssige Metall in die Hohlform eingebracht wird; entweder durch Zentrifugalkräfte (BARDET'sche - und HERBST'sche Handschleuder, WAUER'sche oder SACHS'sche Radschleuder, JAMENSON-Apparat, OETTINGER-Schleuder, sowie die Tiegelschleuder DEGUSSA-LEUSER 1929/30 (4)) durch Druck von Gasen, wie zum Beispiel Luft (STEINBERG, ADLER-Druckluftgasapparat, WHIP-MIX-TRICASTER), Lachgas (TAGGART), Kohlendioxyd (STÖSSEL) oder Wasserdampf (SOLBRIGzange) oder durch Vakuum bzw. Saugkraft (HOFMANN, FRINK). Andere Methoden, welche die Schwerkraft oder Bewegungsenergie durch Stempeldruck verwendeten, zeigten keine brauchbaren Ergebnisse. Alle Überlegungen bei der Entwicklung von zahnärztlichen Gußapparaten waren darauf ausgerichtet, einen paßgenauen, poren- und lunkerfreien Guß zu erzielen. Die Porenfreiheit von Metallgüssen ist jedoch nicht nur von dem eigentlichen Gießprozeß, sondern von zahlreichen anderen Faktoren abhängig: von der Abkühlungsgeschwindigkeit, von der Temperatur der Form und der Schmelze, von der Luft im Innern der Hohlform, von der Gasdurchlässigkeit der Einbettmassen usw. - MEYERS zählt über 60 Ursachen des Mißerfolges bei zahnärztlichen Güssen auf (4).

Es lag daher der Gedanke nahe, eine Maschine zu entwickeln, die den gießereitechnischen Forderungen entspricht. Der Guß sollte möglichst unter Vakuum ausgeführt werden, die Gießzeit verkürzt sein, ein dichtes und reines Gefüge entstehen. Die technischen Parameter sollten Höchstwerten entsprechen.

Die amerikanische Firma WHIP-MIX versuchte mit ihrer Kalt-Vakuumdruckgußmaschine "TRICASTER", diesen Forderungen gerecht zu werden. In dieser Arbeit möchte ich dieses Verfahren mit der herkömmlichen Tiegelschleuder von DEGUSSA, der von der Mehrzahl der Autoren der Vorzug gegeben wird (9,25 u.a.), vergleichen und die Gußproben auf Lunkerbefund prüfen.

B. Metallurgische Probleme

I. Das Entstehen von Fehlern und Mißerfolgen bei Metallgüssen

Alle Metalle und Legierungen sind kristallinischer Natur. Sie bestehen aus einer Vielzahl kleinster Kristalliten, den sogenannten Körnern. Bei der Herstellung maß- und formgerechter, gefügedichter Gußstücke mit guten mechanischen Eigenschaften treten nun häufig Schwierigkeiten auf, deren Ursachen in der Korngröße und Kornform, im Legierungssystem und in der Schwindung und Lunkerung zu suchen sind.

1. Korngröße und Kornform

Die Vielfältigkeit der Korngröße und Kornform, die für die mechanischen Eigenschaften wie auch für die Mundbeständigkeit von Bedeutung ist, ist von dem wechselnden Fremdkeimzustand und von den Keimbildungsbedingungen abhängig, die wiederum eine Funktion der Abkühlungsgeschwindigkeit, der Gestalt des Gußstückes selbst, der Speiserform und der Einbettmasse sind. Der Ablauf der Erstarrung ist also abhängig von Art und Geschwindigkeit der Kristallisation.

Die Zusammenhänge zwischen Keimzahl und Kristallisationsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Abkühlungsgeschwindigkeit zeigt Abbildung 1 von WASSERMANN (34). Die Kristallisationsgeschwindigkeit steigt mit zunehmender Unterkühlung stärker an als die Keimzahl, d.h. die Zahl der in der Zeiteinheit gebildeten Kristalle. Eine beschleunigte Abkühlung des Gusses führt also zu schneller wachsenden und zahlreicheren Keimen und damit zu geringerer Korngröße. Bei langsamer Abkühlung ist die Korngröße erheblicher, da nur wenige Keime gebildet werden. Die Diffusionsvorgänge bei

langsam erstarrenden Legierungen können ebenfalls besser ablaufen, so daß nach Abschluß der Erstarrung die Kristalle in gleicher Zusammensetzung wieder vorliegen.

Jedes Metallkorn besitzt einen geregelten Atomaufbau. Benachbarte Kristallite eines reinen Metalls haben den gleichen Kristallaufbau aber keine regelmäßigen Begrenzungsflächen. Die Kristallite stoßen unter verschiedenen Netzebenenwinkeln zusammen und bilden somit einen ungeregelten Gitteraufbau. Die Keime wachsen vorwiegend in Richtung des Wärmeflusses und erhalten dadurch eine charakteristische Kornform (z.B. Stengelkristalle bei Kokillenguß).

2. Legierungssystem, Entmischung, Seigerung

Bei der Erstarrung von Legierungen kann eine Entmischung beim Übergang vom flüssigen in den festen Aggregatzustand eintreten. Das erstarrte Gußstück kann also in seinen verschiedenen Phasen verschiedene Zusammensetzung haben. Eutektische Schmelzen erstarren wie reine Metalle. Bei Mischkristallbildung erstarrt an der Wandung der Form zuerst die niedrig schmelzende Legierungskomponente, im Blockinnern bleibt die höher schmelzende Legierungskomponente. Diese sogenannte "umgekehrte" Blockseigerung tritt bei starker Unterkühlung, d.h. bei beschleunigter Erstarrung auf. "Normale" Blockseigerung, also eine Erstarrung in umgekehrter Reihenfolge tritt in der Praxis der Nicht-Eisen-Metalle seltener auf, eher bei Stählen. "Kornseigerung" ist eine Änderung des Legierungsgehaltes innerhalb des Kristallkorns. "Schwereseigerung" tritt nur bei Legierungen auf, deren Kristalle ein unterschiedliches spezifisches Gewicht haben im Gegensatz zu ihrer Schmelze, z.B. übereutektische Antimon-Bleilegierungen (34).

3. Schwindung, [illegible], [illegible]erlegene Kopf

Bei der Abkühlung eines flüssigen Metalls ist das Volumen des erstarrten Metalls kleiner als das Volumen der Schmelze bei der Füllung des Formhohlraumes. Ausnahmen sind Wismut und Antimon. Das Volumendefizit wird stets dort auftreten, wo die Metallmasse zuletzt erstarrte, da die zuerst fest gewordenen Randschichten die Zusammenziehung des Gußstückes als Ganzes verhindern. Bei symmetrischen Abkühlungsverhältnissen (Kugel) tritt das Defizit also in der Mitte des Gusses,

bei Gußstücken mit komplizierteren Formen im Innern der Teile mit stärkster Materialanhäufung auf (36). Nach HOLLENBACK und SKINNER (14) beträgt das Volumendefizit von Dentallegierungen etwa 5 %. Die Ursachen des Volumendefizits liegen in der Schwindung des Metalls im flüssigen Zustand, im Erstarrungsintervall und im festen Zustand (8,20). Das Defizit äußert sich erstens in einer Maß- und Formabweichung des Gußstückes, die durch den kubischen Schwindungs-Koeffizienten erfaßbar ist, zweitens in einem Absinken des Metallspiegels in der Hohlform und nach Bildung einer tragfähigen Randschale, drittens in der Erstarrungsschrumpfung, in Einfallstellen und in Lunkern.

In der Praxis sind daher durch verschiedene Gußformen und unterschiedliche Temperaturverteilungen zahlreiche Lunker in allen Größen und an verschiedenen Stellen aufzufinden. Ein Teil des Volumendefizits kann also durch "Nachgießen" oder durch Anbringen von Metallreserven am Gußstück, durch sogenannte Steiger oder verlorene Köpfe ausgeglichen werden. LOEBICH und FALCK-WEIKART (23,36) geben genaue Vorschriften für die Anbringung des verlorenen Kopfes. Allgemein werden an die Dimensionen des verlorenen Kopfes folgende Forderungen gestellt: Sein Volumen muß ausreichen, um das Volumendefizit des Gußstückes ausgleichen zu können. "Das Verhältnis von Volumen zu Oberfläche muß so sein, daß die Erstarrungszeit des Steigers größer ist als die des zu speisenden Gußstückes" (Zitat,20). Die Isothermenflächen, d.h. Flächen gleicher Wärmeabgabe, müssen zum Steiger hin geöffnet sein, damit die Restschmelze vom Steiger zur Erstarrungsstelle läuft (20). Zwischen verlorenem Kopf und der Stelle der ersten Erstarrung besteht

also ein Temperaturgefälle. Dieser Temperaturgradient muß eine "gerichtete Erstarrung" erzwingen, d.h. zuerst sollte das Gußobjekt, dann der verlorene Kopf und zum Schluß der Gußkanal erstarren (5). Die gerichtete Erstarrung" kann noch zusätzlich durch äußere gerichtete Abkühlung hervorgerufen werden. Versuche dieser Art ergaben jedoch keine befriedigenden Ergebnisse (37). Nach KNAPPWOST (17) sollte die spezifische Oberfläche des Steigers kleiner sein als diejenige des Gußstückes, um eine frühzeitige Erstarrung zu verhindern. Durch die Kugelform des verlorenen Kopfes streben nämlich die Wärmeflußlinien im Formstoff auseinander, d.h. die Oberfläche des verlorenen Kopfes kann somit in einer scheinbaren Vergrößerung wirksamer werden, was zu einer schnelleren Erkaltung führen kann (siehe Abbildung 2). Hinzu kommt, daß der verlorene Kopf am Übergang zum Gußstück einen kritischen Punkt bildet, da das Lumen durch Bildung einer tragfähigen Randschale schnell eingeengt werden kann. Andererseits ist die spezifische oder "wirksame" Oberfläche an der Stelle zwischen verlorenem Kopf und Gußstück am geringsten, d.h. durch die Überdeckung der Isothermen ist die Wärmeabgabe geringer und ungleichmäßiger (19). Beim Abschlagen des Steigers vom Gußstück, dem sogenannten "Schopfen", zeigen sich daher oft noch zahlreiche Blasen, die nach dem Wasserstrahlpumpenprinzip an der engen Stelle mitgerissen wurden (22).

An der Einschnürungsstelle ist die Erstarrung also unkontrollierbar. Um diesen kritischen Punkt zu meiden, wurden verschiedene Speisersformen vorgeschlagen (18,22). Der versetzte Gußstift mit zylindrischer Form ohne besondere Einschnürung am Gußobjekt zeigte die besten Ergebnisse (22,37). Im Idealfalle aber würde man den Querschnitt des Steigers größer bemessen als den Querschnitt des Gußstückes. Dies führt jedoch zu einem erheblichen Materialverlust.

4. Gasblasen

Die meisten Metalle neigen dazu, im Schmelzfluß Gase aufzunehmen, die aus der Luft (O, N) oder aus der Ofenatmosphäre (H,N) stammen. Nach SIEVERT (31) ist die Gasmenge, die im Metall gelöst ist, proportional der Quadratwurzel des Partialdruckes des betreffenden Gases über dem flüssigen Metall.

$$C_{(\text{Gas im Metall})} = \text{konst.} \sqrt{P_{(\text{Gas über Metall})}}$$

Die Löslichkeit von Gasen in geschmolzenen Metallen nimmt im allgemeinen mit steigender Temperatur zu, wobei am Schmelzpunkt eine sprunghafte Zunahme stattfindet. Eine Schmelze, die lange im flüssigen Zustand gehalten wird, absorbiert entsprechend den Partialdrücken eine gewisse Menge von Gasen. Der Teil des Gases, der während der nachfolgenden Erstarrung ausgeschieden wurde, aber nicht mehr entweichen konnte, bildet innerhalb des erstarrten Gußstückes Gasblasen. Die Güsse sind porig und unbrauchbar. Im Gegensatz zu Mikrolunkern weisen Gasblasen eine rundliche bis elliptische Form auf.

Das Auftreten von Gasblasen im Gußstück kann am besten durch Gießen unter Vakuum oder aber auch durch niedrige Gießtemperatur, kein Überhitzen der Schmelze, durch langsame Erstarrung, durch Anbringen von Entlüftungskanälen oder durch schräge Einbettung des Gußobjektes verhindert werden (4).

5. Fremdeinschlüsse

Während des Schmelz- und Gießprozesses können Fremdkörper in das flüssige Metall eingeschlossen werden, die bei der Erstarrung nicht wieder abgegeben werden. Diese nichtmetallischen oder "exogenen" Einschlüsse können durch mechanisches Mitreißen fester oder flüssiger Partikel, durch Schlackenreste, durch chemische Reaktionen innerhalb der Metallschmelze oder durch Ausscheidungsprodukte aus unsauberen Legierungen innerhalb der flüssigen metallischen Lösung verursacht sein (31).

Lunker, Gasblasen und Fremdeinschlüsse schwächen somit das Gußstück und können es unbrauchbar machen, vor allem, wenn sie an der Oberfläche liegen. Eine Hochglanzpolitur kann nicht mehr erzielt werden. Sie beeinträchtigen die Mundbeständigkeit, bilden Nischen für Speisereste und Bakterien und geben durch Bildung von Potentialdifferenzen zwischen Metalloberfläche und Lunkerinnenwand Anlaß zu Verfärbungen (36).

II. Der "Kalt- und Heißguß"

Das gebräuchlichste Gußverfahren in der zahnärztlichen Technik ist das Wachsausschmelzverfahren. Das Wachsmodell wird in Einbettmassen, eine Art Formsand, der gewöhnlich aus Gips und einer feuerfesten Masse, z.B. Quarz, besteht, eingebettet.

Aus praktischen Gründen wird die Einbettmasse in eine Muffel gegossen. Diese Muffel wird nach Abbinden der Einbettmasse erhitzt, das Wachs ausgebrannt und der so entstandene Hohlraum, die Form, mit Metall ausgegossen. Das Wachsausbrennverfahren ist auch in der Präzisionsgußindustrie bekannt. Als Einbettmassen werden jedoch Äthlysilicate genommen, die auch in der zahnmedizinischen Technik für den Stahlguß angewandt werden (28). Auf Muffeln kann dabei verzichtet werden, da die Silicate einen ausreichend festen Mantel um die Wachsform bilden, nachdem sich die organischen Bestandteile beim Brennen der Form verflüchtigt haben. Um das Wachsmodell aus der harten Formmasse herauszubekommen, wird die Einbettmasse also erhitzt. Es stellt sich die Frage, wie hoch die Masse erhitzt werden soll. Genügt eine Temperatur, die gerade ausreicht, das Wachs auszutreiben, oder kann die Masse bis knapp unter den Schmelzpunkt des zu vergießenden Metalls geglüht werden?

Je nach Temperatur der Muffel vor dem eigentlichen Gießprozeß kann man von einem "Kaltguß" oder von einem "Heißguß" sprechen.

1. Korngefüge und Korngröße in Abhängigkeit von der Temperatur der Form

Zahlreiche Faktoren sind von der Temperatur der Form, in die gegossen werden soll, abhängig.

Eine zu hohe Vorwärmtemperatur wirkt sich auf die Eigenschaften der Einbettmassen nachteilig aus. Der Gips zersetzt sich und führt zu einer Schwefelschädigung des Metalls. Bei der hygroskopischen Expansion darf die Form nicht über 700°C erhitzt werden (27,36).

Das Gefüge des Metalls wird grobkörnig, die Kornzahl nimmt ab, und die Oberfläche des Metalls wird rauh. Eine Überhitzung der Schmelze oder der Muffel führt zur Dendritenbildung. Zugfestigkeit und Dehnung nehmen dabei rapide ab. Das Maximum dieser Eigenschaften wird erreicht, wenn das Metall vor dem Gießen auf eine Temperatur knapp über dem Liquiduspunkt erhitzt wird (4).

Eine zu niedrige Vorwärmtemperatur ergibt keine ausreichende thermische Expansion. Die Gußkontraktion kann also nicht ausgeglichen werden. Das Gefüge wird aber feinkörniger, und die Kornzahl nimmt zu. WAGNER (36) zählte beim Guß einer Gold-Platin-Legierung (Degulor M) bei einer dreißigminütigen Vorwärmtemperatur der Gußform bei 500°C etwa 2500 Körner pro mm^2, bei 700°C etwa 1400 Körner pro mm^2. Zusätzlich ist bei einer niedrigen Vorwärmtemperatur ein stärkerer Luft-Rückdruck in der Hohlform vorhanden (27). Wird das geschmolzene Metall schneller eingegossen, als Luft und Gase aus der Hohlform entweichen können, so tritt ein Metallrückschlag, der sog. "metal rebound" auf, d.h. innerhalb der Form baut sich ein Rückstau auf, der einen Kisseneffekt verursacht und ein glattes Ausfließen des Metalls verhindert. Bei einer höheren Erhitzung der Gußform ist dieser infolge der Luftverdünnung geringer.

Um sich ein genaues Bild von den Erstarrungsverhältnissen in der Hohlform zu machen, stellt man sich den Ablauf in der Kristallisation eines flüssigen Metalls im Zeitlupentempo vor. Gold wird bei einer Temperatur von etwa 1065°C flüssig. Die rotglühende Muffel hat ungefähr eine Temperatur von 700°C, die "kalte" Muffel von etwa 100°C. Gießt man in eine "kalte" Muffel,

so wird im Augenblicke des Gusses das Metall sofort auskristallisieren, da rapid Wärme abgeführt wird. Eine kühle Formwand nimmt die Wärme schneller auf als eine heiße. Die Abkühlungsgeschwindigkeit an der Oberfläche des Gußstückes ist eine andere als im Innern. Man erhält an der Oberfläche ein dichteres Gefüge, die Korngröße ist kleiner als im Zentrum. Diese Beobachtung ist jedoch nicht mit einer Blockseigerung gleichzusetzen. Bei dieser tritt an der Oberfläche des Metalls eine Heterogenität der Mischkristalle auf, während im Innern Homogenität zu finden ist. In unserem Falle ist aber nicht die Kristallstruktur verschieden, sondern nur die Kristallgröße.

Das Entstehen einer heterogenen Oberfläche, die von den Erstarrungsbedingungen abhängig ist, wird von der Einbettmasse verhindert, die, im Gegensatz zu Kokillen (= Metallformen), ein schlechter Wärmeleiter ist (11). Die heutigen platinhaltigen Dentallegierungen zeigen auch bei Güssen in "kalte" Formen fast ausschließlich ein homogenes Gefüge.

2. Abkühlung und Formsandprobleme

Die Einbettmasse, also die Formwand, ist wesentlich kälter als das einströmende Metall. Es bildet sich an ihr sofort eine dünne, dicht gefügte Schicht erstarrten Metalls. Steigt jedoch die Masse des flüssigen Metalls und somit sein Wärmevolumen weiter an, so wird die Schale wieder aufgeschmolzen, und zwar so lange, bis sich an der Kontaktstelle endgültig die Solidustemperatur eingestellt hat. An der Berührungsfläche von Metall und Form wird sich also nach einer bestimmten Zeit ein stationärer Temperaturzustand

einstellen, der von verschiedenen Ausgangstemperaturen und dem Wärmediffusionsvermögen der beiden Körper abhängt. KOPPE, W. (19) stellt zur Erläuterung des Temperaturverlaufes in zwei Körpern unterschiedlicher Ausgangstemperaturen zwei Systeme auf. Zwei homogene Körper (Metall = M und Einbettmasse = E) mit einer hohen ϑ_M°-und einer niedrigen ϑ_E° Temperatur werden so zusammen gebracht, daß ihre Berührung vollkommen ist. Zu Beginn liegt an den Berührungsflächen ein Temperatursprung von Körper M nach Körper E, von der Größe $\vartheta_M^\circ - \vartheta_E^\circ$ der einen Wärmefluß auslöst. Nach dem Zusammenbringen stellt sich an der Berührungsfläche eine Temperatur ϑ_B° ein. Im idealisierten Fall gilt dann für das Metall: "Der Formstoff wird gedanklich durch einen Körper ersetzt, der die Schmelzwärme abführt, ohne daß seine Temperatur, die der Berührungstemperatur ϑ_B° entspricht, ansteigt. Für den Formstoff gilt: Das Metall wird durch einen Körper ersetzt, der dem Formstoff Wärme liefert, ohne daß seine Temperatur, die der Berührungstemperatur ϑ_B° entspricht, fällt" (KOPPE, 19).

Da während der Abkühlung die Ausgangstemperaturen ϑ_M° und ϑ_E° nicht mehr als konstant angesehen werden können, muß sich die Temperatur ϑ_B° der Berührungsfläche ändern. Dies geschieht so lange, bis beide Körper gleiche Temperatur aufweisen, d.h. bis sich ein stationärer Zustand eingestellt hat. Die nun erreichte Temperatur ϑ_G° ist von den Wärmeinhalten der Körper im Ausgangsstadium, von ihren Volumina und von ihren Wärmeinhalten je Volumeneinheit nach dem Ausgleich abhängig (siehe Abbildung 3). In der Praxis bildet sich aber bei der Abkühlung, besonders beim

Guß in die "kalte" Muffel, an der Berührungsfläche von Metall und Formstoff bald eine Schale festen Metalls, deren Dicke sich ständig zum Zentrum des Gußstückes hin ausdehnt. Das feste Metall hat aber eine andere stoffliche Eigenschaft als das flüssige Metall. Hinzu kommt, daß sich durch die Rückbildung der Quarzausdehnung und die Schwindung des Metalls in festem Zustand - beide Prozesse verlaufen nicht parallel - ein Luftspalt zwischen Gußstück und Formstoff bildet, der nur eine unvollkommene Berührung der Körper gewährleistet. Durch Abstrahlung und Konvektion an der freiliegenden Oberfläche des Gußtrichters werden die Vorgänge bei der Abkühlung noch unübersichtlicher.

Berücksichtigt man noch den Wärmetransport in der porösen Einbettmasse, der sich aus transgranularer und intergranularer Strahlung zusammensetzt, so kann man sagen, daß die exakte Berechnung der Abkühlung des gerade gegossenen Objektes nicht erfassbar ist (19). Ebenfalls muß noch der Unterschied zwischen geometrischer und wirksamer "spezifischer" Oberfläche bei der Abkühlung berücksichtigt werden. Bei den oben genannten, idealisierten Verhältnissen war eine Parallelität der Wärmeflußlinien eine Voraussetzung. Je größer die Abweichung von der Gestalt einer planparallelen Platte ist, um so mehr streben die Wärmeflußlinien auseinander. Sie durchdringen im zunehmenden Abstand von der Gußoberfläche steigende Mengen von Einbettmasse. Das Volumen der Einbettmasse je Einheit der Gußoberfläche, das zur Wärmeaufnahme bereit steht, ist also für die Geschwindigkeit der Abkühlung entscheidend. Die größte geometrische Abweichung von einer Ebene zeigt demnach die Kugel.

Neben den thermischen Daten des Metalls und des Formstoffes bildet die wirksame Oberfläche des Gußstückes ebenfalls noch einen zu berücksichtigenden Faktor bei dem Problem der Abkühlung. Von einem völligen Abschrecken des Gusses in der kalten Form kann also keine Rede sein (11).

In der heutigen Praxis wird fast ausschließlich nur noch der Heißguß angewandt. Die Muffel wird in einem elektrisch geheizten Muffelofen mit konstanter Temperatur von 700 bis 750°C vorgewärmt. Da sich aber der Gips in der Einbettmasse bei längerem Vorwärmen über 600°C zu zersetzen beginnt, und somit zu einer Schwefelschädigung des Metalls, einem grobkörnigen Gefüge und einer rauhen Oberfläche führt, sollte man die Vorwärmedauer von 30 bis 45 Minuten nicht überschreiben (3,4,5,36). In der älteren Literatur sind Angaben über das Gießen in die kalte Muffel noch zahlreich zu finden. So empfahl SCHEFFLER (29) bei der OETTINGER-Schleuder eine Vorwärmtemperatur von 550°C, SCHUBERT (30) eine Temperatur von höchstens 350°C. Bei der von ELANDER (7) angegebenen Apparatur wurde beim Ausglühen eine Temperatur von nur 150 bis 200°C angegeben, um eine Zurückschrumpfung der expandierten Form mit Sicherheit auszuschließen. Anschließend wurde in die erkaltete Form gegossen. HARNDT (11) kam in seinen kristallographischen Untersuchungen über Kalt- und Heißgüsse darauf, daß es ohne Bedeutung ist, ob in eine kalte oder heiße Form gegossen wird, da keine wesentlichen Unterschiede in den geprüften Güssen auftraten.

III. Der Vakuumguß

Eine der Hauptschwierigkeiten bei der Erzeugung lunker- und gasfreier sowie oberflächen- und gefügemäßig befriedigender Gußteile liegt immer in der zweckdienlichen Entlüftung der Schmelze und der Gußwerkzeuge. Diese Überlegungen führten in der Gußindustrie zur Anwendung von Vakuum, vornehmlich bei Druckguß. Der Vakuumdruckguß ist in den Vereinigten Staaten von Amerika seit Mitte der fünfziger Jahre bekannt (32). Unter Vakuumguß versteht man das Gießen in einen luftleeren bzw. luftverdünnten Formhohlraum, in dem folglich der Druck kleiner als der normale atmosphärische Druck von 760 Torr ist. Bei den neueren Industrievakuumgußmaschinen befindet sich die Schmelze des Metalls ebenfalls unter Vakuum. Zur Erzeugung eines Vakuums dient eine Vakuumpumpe und ein Vakuumkessel, mit deren Hilfe die Luft aus der Form und aus dem Eingußsystem herausgesaugt wird. Bei den einfachen Vakuumgußmaschinen sind außer dem Eingußtrichter, durch welchen das Vakuum gewonnen wird, alle Ausgänge des [illegible].

Die verdünnte Luft im [illegible] setzt dem eindringenden [illegible], so daß die Einströmungsgeschwindigkeit beträchtlich steigt. Das führt zu einer verkürzten Gießzeit. Wird die Schmelze auch noch unter Vakuum vergossen, so werden die von der Schmelze aufgenommenen Gase entfernt. Dasselbe gilt für die normalerweise im Gußstück vorhandene eingepreßte Luft. Versuche in der Gußindustrie [illegible], [illegible] Vakuum im Endeffekt jedoch ungünstiger sein kann als gar keines,

da kleine Luftrückstände im Gußstück von dem einströmenden, flüssigen Metall leichter eingeschlossen werden, als im Falle einer nicht evakuierten Form. MORTON (32) berichtet, daß ein Vakuum von mindestens 95 Prozent, d.h. etwa 725 Torr, unerläßlich ist.

Eine Gefügeverdichtung, die beim Gießen unter Vakuum anzunehmen wäre, wurde in der Praxis der Gußindustrie jedoch nicht erreicht. Hohe Drücke zum Vergießen der Schmelze sind immer noch erforderlich. Von einem selbsttätigen Ansaugen der Metallschmelze beim Vakuumguß kann nur bedingt gesprochen werden, da die innere Reibung in der erstarrenden Metallmenge nicht aufgehoben wird. An dieser Stelle soll noch ein interessanter Versuch erwähnt werden, der im Laboratorium für Metallkunde der KÖNIGLICH DÄNISCHEN TECHNISCHEN UNIVERSITÄT in Kopenhagen mit dem Vakuumguß nach der Wachsausschmelz-Methode unternommen wurde. LUNN (24) berichtet: "Um die gerade noch vergießbare Wanddicke von Gußstücken ermitteln zu können, wurden Wachsstäbe verschiedenster Durchmesser und Größen in rohe Sandformen eingeformt, wobei es sich zeigte, daß bei Verwendung von Vakuum Stangen bis zu 200 mm Länge und einem Durchmesser von nur 0,4 mm aus Reinaluminium vergossen werden konnten. Auf der Schmelze lastete kein Gießdruck"(siehe Abbildung 4).

Von besonderer Bedeutung für den Vakuumguß ist es aber, daß das Vakuum nur im Augenblick des Gießens aufrechterhalten, also nur kurzfristig verwendet wird. Daher ist für die kurze zur Verfügung stehende Zeitspanne zum völligen Evakuieren der Hohlform, die praktisch mit der Zeit für einen vollständigen Gieß-

vorgang identisch ist, ein sehr wirksames Vakuumsystem erforderlich. Neuere Versuche in der Industrie gehen nun davon aus, die Gasdurchlässigkeit der Formsande oder der Einbettmassen für den Vakuumguß auszunützen.

Beim CROWING-Verfahren wird ein sehr feiner Sand in Verbindung mit einem Bakelitbinder verwendet (24). Andere Sande enthalten Harnstoff- oder Phenolharze. Beim Brennen der Form verflüchtigen sich die organischen Bestandteile, sie wird somit gasdurchlässig.

Auch mit Gipsformen wurden in den USA Versuche gemacht, da diese Formen für die Gußindustrie bis dahin praktisch noch keine brauchbare Gasdurchlässigkeit zeigten.

Das ANTIOCH-Verfahren, das im Jahre 1930 in Antioch (USA) für den Kunstguß entwickelt wurde, zielte darauf ab, der Gipsform eine ausreichende Gasdurchlässigkeit zu verleihen.

Zu diesem Zwecke werden die Gipsformen in einen Autoklav gebracht und dort 9 Stunden lang behandelt. Dabei erfolgt eine Umwandlung des Dihydrates: $CaSO_4 \times 2H_2O$ in Hemihydrat: $CaSO_4 \times \frac{1}{2} H_2O$, ein Vorgang, der an sich auch bei einer sehr sorgfältigen Trocknung im niederen Temperaturbereich abläuft. Die Verwendung eines Autoklaven scheint aber sicherer zu sein. Nach dieser Vorbehandlung werden die Formen aus der Druckkammer herausgenommen und in Wasser getaucht, wobei der Gips wieder in die Dihydrat-Form zurückkristalliziert. Hierbei bilden sich kornähnliche Strukturen, so daß ein Kornverband wie bei einer Sandform entsteht, ohne daß die Formoberflächen ihre Glätte einbüßen. Auf diese Weise wird die Gipsform

gasdurchlässig. Abschließend muß sie noch zehn bis fünfzehn Stunden bei 175°C in einem Umwälzofen getrocknet werden (26).

Besteht nun ein Formsand nur aus einer feuerfesten Masse, zum Beispiel aus Quarz, so ist die Gasdurchlässigkeit von der Korngröße der Sandsubstanz und der Verdichtung abhängig.

Füllt man ein Gefäß mit dicken, gleichgroßen Kugeln in dichtester Packung, so ist der nicht von den Kugeln ausgefüllte Raum, der mit Luft gefüllt ist, von dem Kugeldurchmesser unabhängig. Die Kantenlänge eines Würfels sei a, die Anzahl der Kugeln, die auf eine Kante gehen n und ihr Durchmesser d, so ist: $a = n \times d$. Der Inhalt des nicht mit Kugeln gefüllten Raumes ist dann:

<u>Gleichung 1:</u>

$$V = a^3 - n^3 \times \frac{1}{6}\pi d^3 \qquad (a = n \times d)$$

$$V = a^3 - \frac{1}{6}\pi a^3$$

$$V = a^3 \times (1 - \frac{1}{6}\pi)$$

$$V = 0{,}477\ a^3$$

Da die Kugeln bzw. Sandkörner bei einer Einbettmasse aber nicht alle gleichgroß sind, werden die Kanäle zwischen den Kugeln enger und kleiner. Sie setzen dem entweichenden Gas- und Luftgemisch im Formsand nach dem HAGEN-POISSEUILLSCHEN Gesetz mehr Widerstand durch Reibung entgegen als bei dicken, gleichgroßen Kugeln (15).

Unsere zahnmedizinischen Einbettmassen enthalten nun aber neben der feuerfesten Substanz noch Gips als Bindemittel. Da beim Erhitzen der Gips schrumpft und so der Quarzexpansion entgegenwirken würde, beschränkt man den Gipszusatz auf ein Mindestmaß. Man gibt nur so viel

Gips hinzu, um gerade das Porenvolumen der feuerfesten Substanz zu füllen, was die Gasdurchlässigkeit wiederum herabsetzt (36). Die Gasdurchlässigkeit der Einbettmassen hängt also von der Korngröße des Quarzsandes, von dessen mengenmäßiger Verteilung und von der Kornform ab, die ein entsprechendes Porenvolumen hervorruft und die für die Bindefähigkeit und somit für den Verbrauch an Gips von Bedeutung ist.

Um beim Anmischen der Einbettmasse mit Wasser keine Luft aufzunehmen, wird heute vielfach die Vakuumeinbettung benutzt. Somit können sich am Wachsmodell keine Luftblasen bilden, die Gußperlen am Gußstück zur Folge hätten. Die Einbettmasse wird dadurch luftblasenfrei und nach Abschaltung des Vakuums durch den Luftdruck verdichtet, was eine sehr glatte Gußoberfläche ergibt (36)

Andererseits wird aber durch das Einrütteln der Einbettmasse unter Vakuum eine dichtere Packung der Masse gewonnen, als durch einfaches Anrühren. Somit wird die Gasdurchlässigkeit der Einbettmasse bei der Vakuumeinbettung noch weiter erniedrigt.

Der Prüfung der Gasdurchlässigkeit liegt der Gedanke zugrunde, die Zeit zu messen, die ein Luftvolumen Q (cm^3) benötigt, um durch eine Probe mit dem Querschnitt F (cm^2) und der Höhe h unter einem Druckunterschied p (cm Wassersäule) an den Endflächen hindurchzugehen. Die spezifische Gasdurchlässigkeit Gd ist dann

<u>Gleichung 2:</u>

$$Gd = \frac{Q \times h}{F \times p \times t} \qquad \frac{cm^3 \times cm}{cm^2 \times cm \times sec}$$

$$Gd = \frac{cm}{sec}$$

also eine Strömungsgeschwindigkeit (15).

Die Ergebnisse der Untersuchungen über die Gasdurchlässigkeit von zahnärztlichen Einbettmassen von ZAJONCZKOWSKI (38), KLOHE (16) und KYSELOVA, KYSELA und MARES (21) waren jedoch recht unterschiedlich. Genaue Angaben über die Durchströmungsgeschwindigkeit oder über das durchströmende Luftvolumen waren nur in den Arbeiten von KLOHE (16) und KYSELOVA, KYSELA und MARES (21) zu finden, jedoch waren die Versuchsanordnungen nicht einheitlich. Die letztgen[illegible] Autoren machten die Gasdurchlässigkeit der Einbettmassen von dem Mischungsverhältnis Pulver zu Wasser abhängig. KLOHE untersuchte 6 verschiedene Einbettmassen auf Luftdurchlässigkeit mit einem Druckapparat nach Dr. SCHASCHEK, wobei die Durchströmungsgeschwindigkeit bei Anwendung von "Super-Setting" als Anrührflüssigkeit auf das Doppelte und mehr anstieg (16). Die Massen waren jedoch nicht unter Vakuum eingebettet, zeigten daher nach dem Vorwärmprozess eine sehr spröde Struktur und kamen nicht bei der zum Gießen vorgeschriebenen Temperatur von 650 bis 700°C zur Untersuchung, so daß die Einbettmassen bei der Abkühlung wieder Luftfeuchtigkeit aufnehmen konnten.

Exakte Angaben über die Gasdurchlässigkeit von Einbettmassen waren nur in den Veröffentlichungen der Gießereiindustrie zu finden, die für zahnmedizinische Zwecke aber nicht von Bedeutung sind.

Nach DIN 52401 müssen für die Gasdurchlässigkeitsprüfung von Gießereisanden und Einbettmassen zylindrische Prüfkörper von 50 mm Höhe und 50 mm Durchmesser hergestellt werden, in welche die Masse durch drei Rammschläge eines Fallgewichtes von 6666 g aus einer

Fallhöhe von 50 mm verdichtet wird (12).

Nach AFS (AMERICAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY), Foundry Sand Handbook, hat der Prüfkörper nur einen Durchmesser von 30 mm (13).

Ein reiner Quarzsand, der mit 6 % Betonit und 2 % Dextrin gebunden wurde, hatte eine Durchströmungsgeschwindigkeit von 50 cm/sec bei einem Stahlguß von einer Temperatur von 1600°C und einem ferrostatischen Druck von 1 m. Quarzsande, die mit Gips gebunden wurden, kamen bei Buntmetallgüssen, die mit den zahnärztlichen Güssen gleichzusetzen wären, nicht nach DIN-Vorschrift zur Untersuchung.

Auch in der zahnmedizinischen Technik wurde versucht, die Gasdurchlässigkeit der Einbettmassen für Vakuumguß auszunützen. Die Vakuumgußmaschine "TRICASTER" der Firma WHIP-MIX arbeitet mit Druckluft. An der Maschine von ANDERSON (1) befindet sich die Vakuumeinrichtung an einer Schleudergußmaschine.

C. Eigene Untersuchungen

I. Die zum Vergleich benutzten Gußapparate

Zur Untersuchung standen die beiden folgenden Gußapparate mit den dazu gehörigen Einbettmassen, die von den betreffenden Herstellerfirmen empfohlen wurden, zur Verfügung:

1. Die DEGUSSA-Tiegelschleuder mit elektrischer Beheizung und die Einbettmasse DEGUVEST HFG.
2. Der TRICASTER-Druckgußautomat der amerikanischen Firma WHIP-MIX und die Einbettmasse BEAUTY-CAST.

Die Arbeitsweise der DEGUSSA-Tiegelschleuder darf als bekannt vorausgesetzt werden. Die Feder im Gehäuse des Sockels wurde vor dem Schmelzen durch viermaliges Drehen des Schleuderarmes im Uhrzeigersinn gespannt. Das Gußmaterial wurde in dem Kohletiegel elektrisch geschmolzen, im Spiegel das Flüssigwerden des Metalls beobachtet und nach 8 sec. Überhitzung vergossen.

Der Druckgußautomat TRICASTER arbeitet automatisch mit Druckluft. Der Gießdruck wird in zwei Stufen vorgewählt. Um eine Wirbelbildung des einschießenden Metalls zu vermeiden, beginnt man den Gußvorgang mit einem niedrigen Druck, der dann zu einem höheren Druck anwächst bis die Hohlform gefüllt ist. Die Druckeinstellung beträgt für kleine Güsse bis zu 15 g Legierung am Lo-Manometer 4-5 pounds (ca. 1/3 atü) und am Hi-Manometer 15 pounds (1,1 atü), für Güsse über 15 g Legierung 4 - 5 pounds und 25 pounds (1,8 atü). Der Druckluftaufschlag erfolgt auf die in der Gußmulde liegende Schmelze. Die Muffel steht auf dem Vakuumtisch, einem Gießtisch mit Vakuumanschluß. Das Vakuum wird durch den Boden der Muffel gewonnen, übt aber erst nach Herunterziehen des Gußstempels, also nach der völligen

Abdichtung der Muffel, seine Wirkung auf die Form aus. Ist die Legierung völlig flüssig, sowie nach 8 sec Überhitzung der Gießmoment gekommen und die Vakuumpumpe eingeschaltet, so wird durch Herunterziehen des Gußstempels auf die Muffel das Metall vergossen. Die erste Bewegung soll langsam, aber entschlossen ausgeführt werden, um zunächst durch Abdichtung der Muffel das Vakuum wirken zu lassen. Gleichzeitig öffnet sich dabei schon das Ventil, welches den niederen Luftdruck auf das Metall freigibt. Nach Fortsetzung der Abwärtsbewegung bis zur Verriegelungsstellung wird der hohe Luftdruck hinzugefügt, wodurch die Anzeige des Lo-Manometers zusammen mit den Hi-Manometer weiter steigt. Nach Schließen des Gießstempels läßt man die Maschine 20 sec in dieser Stellung, schaltet dann die Vakuumpumpe ab, drückt den Stempel weiter nach unten, um die Verriegelung zu lösen, und nimmt den Deckel hoch. Die Muffel wird vom Gießtisch genommen und langsam abgekühlt.

Zu den oben genannten beiden Gußautomaten werden von den Herstellern die jeweiligen Einbettmassen empfohlen. Für die DEGUSSA-Schleuder die Masse DEGUVLST-MTG, für den TRICASTER die Masse BEAUTY-CAST. Um eine Abhängigkeit der Gasdurchlässigkeit von der Einbettmasse zu untersuchen, wurde einmal mit Vakuum und einmal ohne Vakuum gegossen, sowie die Massen miteinander ausgetauscht. Es ergaben sich somit 4 Untersuchungsreihen:

Serie:	Maschine	Einbettmasse	Vakuum
I.	TRICASTER	BEAUTY-CAST	+
II.	TRICASTER	BEAUTY-CAST	-
III.	DEGUSSA	DEGUVEST-HFG	/
IV.	DEGUSSA	BEAUTY-CAST	/
V.	TRICASTER	DEGUVEST-HFG	+

Von jeder Serie wurden 10 Versuche gemacht. Zum Schluß lagen also 50 Proben zur Untersuchung vor.

II. Technische Daten bei der Herstellung der Güsse

Für die Gußobjekte wurden 50 modifizierte Brückenzwischenglieder in einer verkupferten Gipsschablone als Wachsmodelle hergestellt. Als Gußwachs wurde für die Güsse mit der DEGUSSA-Schleuder das PREPON-Wachs, für die Güsse des TRICASTERS das WHIP-MIX-Gußwachsbenutzt. Die Gußstifte wurden unter einem von BONSACK empfohlenen Winkel von 135° angebracht (4). Von der Firma WHIP-MIX wurden Metallgußstifte von einem Durchmesser von 2 mm und einer Länge von 14 mm und ein runder Gußmuldenformer mitgeliefert. Da die Legierung direkt in der Gußmulde der Küvette geschmolzen wird, kann ein größerer Durchmesser des Gußkanals nicht gewählt werden, denn die hohe Oberflächenspannung des geschmolzenen Metalls verhindert unter normalen Bedingungen gerade noch sein Einsacken in den Gußkanal. Die Gußmulde ist demnach auch nicht trichterförmig, sondern für den Luftdruckapparat flach oder rund. Der Gußstift wird nun mit dem angewachsten Modell in das Befestigungswachs des Gußmuldenformers bis zum Anschlag eingesteckt. Die Länge des Gußkanals beträgt jetzt nur noch 7 mm. Auf das Anbringen eines verlorenen Kopfes kann nach Vorschrift der Firma verzichtet werden, da der Gußtrichter bei dem

kurzen Abstand zum Gußobjekt selbst als Schmelzreservoir dienen kann. Um gleichbleibende Versuchsbedingungen zu erhalten, wurde auch bei den Güssen mit der DEGUSSA-Schleuder auf einen verlorenen Kopf verzichtet. Das ist nach Angaben der Firma DEGUSSA in Pforzheim bei Kanälen über 2,5 mm Durchmesser statthaft. Für die Güsse mit der DEGUSSA-Schleuder wurde demnach der Gußkanal auf 3,5 mm Durchmesser erweitert und nach Vorschrift an der Ansatzstelle zum Gußobjekt etwas angespitzt. Die Länge des Stiftes betrug ebenfalls nur 14 mm. Auch diesmal wurden genormte Gußmuldenformer genommen, die im Gegensatz zu dem "Luftdrucktyp" einen konischen Gußtrichter besaßen. Der Gußring, der für beide Maschinen die gleiche Höhe von 35 mm hatte, um den gleichen Abstand des Gußobjektes vom Boden der Muffel (7 mm) zu gewährleisten, hatte bei TRICASTER einen Durchmesser von 32 mm und bei DEGUSSA einen Durchmesser von 28 mm. Nach Entfetten der Wachsmodelle mit "SMOOTHLX" von WHIP-MIX bzw. "WAXIT" von DEGUSSA, wurde die Muffel in ihrer ganzen Höhe innen durch eine feuchte Asbestschicht ausgekleidet. Hierdurch sollte der Einbettmasse die nötige Expansion erleichtert werden.

30 Güsse wurden mit der Masse BEAUTY-CAST eingebettet, 20 mit der Masse DEGUVEST-HFG. Ein exaktes Mischungsverhältnis von Einbettmasse und Wasser wurde nach der Anleitung der Hersteller erreicht. Die Masse wurde bei jedem Guß 30 sec unter Vakuum verrührt und unter Vakuum in die Muffel gegossen. Alle Güsse mit der Einbettmasse BEAUTY-CAST wurden für 30 min auf Empfehlung der Herstellerfirma in ein Hygrobad gestellt, das die Muffeln während des Abbindens auf 37,8°C erwärmte, wodurch eine größere und gleichmäßigere Expansion der

Einbettmasse ermöglicht werden soll (2). Die Muffeln mit der Einbettmasse DEGUVEST-HFG wurden 30 min an der Luft getrocknet. Nach Festwerden der Einbettmassen, also nach etwa 30 Minuten, bei BEAUTY-CAST 45 Minuten (30 min Hygrobad, 15 min Trocknen), wurde das Wachs in einem elektrischen Vorwärmofen bei 280°C 30 Minuten lang vorsichtig aus der Masse ausgetrieben. Anschließend wurden die so ausgebrühten Muffeln eine halbe Stunde lang erhitzt, und zwar auf 750°C bei der Masse DEGUVEST-HFG und auf 500°C bei der Masse BEAUTY-CAST.

Zum Guß wurden jeweils 8 g Legierung DEGULOR-M pro Zwischenglied verwendet, außerdem ein Überschuß von 4 g Edelmetall pro Objekt. Im Kohletiegel wurden 20 Legierungen elektrisch geschmolzen und 30 Legierungen mit der sauerstoffarmen, reduzierten Zone der Lötflamme in der Gußmulde der Muffeln. Nach 8 Sekunden Überhitzung wurde mit den jeweiligen Gußapparaten gegossen. Nach Abkühlung der Güsse auf Raumtemperatur wurde die Einbettmasse entfernt und die Zwischenglieder mit NEACID (60 g Salz auf 250 g Wasser) bei 75°C abgesäuert.

III. Die Herstellung der Schliffe

Alle Güsse waren gut ausgeflossen. Ihre Oberfläche war glatt, ohne Blasen und Defekte. Unter der Lupe mit 10facher Vergrößerung waren bei allen Güssen, außer denen der Versuchsreihe V, geringe Oberflächenporositäten auf der Kaufläche der Brückenzwischenglieder zu erkennen. Zur genaueren Untersuchung der Güsse auf Lunker, Defekte und Gaseinschlüsse wurden von jedem Guß Schliffe hergestellt. Dazu wurden die Güsse in der Mitte in Richtung der Gußkanäle mit der Laubsäge von

Hand langsam durchgesägt und so Hitzeeinwirkungen oder Kaltverformungen auf das Metall vermieden.

Die halbierten Brückenzwischenglieder wurden mit der Feile plan geschliffen. Jeweils eine Hälfte eines jeden Gusses wurde dann weiter bearbeitet. Um die kleinen Gußstückchen zu fassen, wurden sie in Bakelit eingepreßt. Phenolisches Bakelit ist ein wärmehärtendes Einbettmaterial. Wärmehärtende Materialien benötigen Hitze und Druck während des Einbettvorgangs und können somit schon bei höchster Einbettemperatur der Einbettpresse entnommen werden. Die halbierten Zwischenglieder wurden mit [illegible] der Schnellpresse [illegible] der Firma A. BUEHLER Ltd. Illinois (USA) eingebettet. Da der Preßkopf der Einbettmasse einen Durchmesser von 3,81 cm hatte, konnten 5 halbierte Zwischenglieder in einen Preßling eingebettet werden. Zur mikroskopischen Auswertung lagen also 10 Preßlinge (von den 5 Serien jeweils 2 Preßlinge) vor.

Nach Einlegen der 5 halbierten Zwischenglieder mit der Schliffseite auf den Preßkopf der Maschine wurden die Güsse mit Bakelitpulver überstreut. Darüber wird ein vorgewärmter Bakelitpreßling gelegt. Diese vorgeformten kaltgepreßten Bakelittabletten beschleunigen das Einbetten. Die Preßform wird geschlossen, und der Preßvorgang kann beginnen. Bei einer Temperatur von 132 bis 150°C und einem Druck von 295 kp/cm^2 können die Preßlinge mit den 5 darin eingebetteten Proben nach 3 Minuten entnommen werden.

Anschließend werden die Güsse geschliffen. Zunächst werden sie von Hand grob vorgeschliffen. Das Grobschleifen dient in erster Linie der Vorbereitung einer ebenen Oberfläche der Probe für das nachfolgende Feinschleifen und Polieren. Die Proben werden mit der Hand leicht

auf die rotierende, horizontal gelagerte Schleifscheibe gedrückt. Um einen Wölbungseffekt zu vermeiden, muß der Druck auf die Mitte des Preßlings ausgeübt werden.

Man beginnt den Schleifprozeß mit der gröbsten Körnung Nr. 120. Bevor man zur nächstfeineren Körnung 220 übergeht, muß die Probe um 90° gedreht werden, um zu erreichen, daß die Kratzer der vorhergehenden Stufe entfernt werden.

Anschließend erfolgt das Feinschleifen. Beim Feinschleifen werden die Proben mit Schleifmitteln im Körnungsbereich von etwa 100 bis auf 15 Mikron bearbeitet. Die Schleifscheibe wird mit wasserfestem Silcarbopapier der Körnung 320, 400, 500 und 600 bespannt. Beim Feinschleifen wird in der gleichen Art vorgegangen wie beim Grobschleifen. Nach dem Schleifprozeß folgt das Vorpolieren mit einem Nylontuch, Läppöl als Schmiermittel und Diamantpolierpaste 7 Mikron als Schleifmittel.

Die Feinpolitur erfolgt mit einem synthetischen Tuch, mit destilliertem Wasser als Schmiermittel und Gamma-Tonerde als Schleifmittel. Anschließend werden die Güsse mit reinem Alkohol gesäubert. Die Schliffe waren spiegelglatt und annähernd kratzfrei und konnten in diesem Zustand unter einem Aufsichtsmikroskop begutachtet werden.

IV. Die Auswertung der Schliffe mit dem "Quantimet"

Der "Quantimet" QTM der Firma METALS RESEARCH LTD, Cambridge (England), ist ein Gerät der Metallurgie zur prozentualen Erfassung der Hell-Dunkelwerte eines Fernsehbildes.

Das Gerät besteht aus drei Teilen: 1. einem Aufsichtsmikroskop mit eingebauter Fernsehkamera, 2. einem Monitor und 3. dem eigentlichen Auszählgerät. Das Auszählgerät gibt den prozentualen Anteil der dunklen gegenüber den hellen Feldern des jeweiligen Fernsehbildes mit Hilfe einer Selenzelle an, die die einzelnen Zeilen des Bildes [illegible]. Zur [illegible] stehen 3 [illegible] zur [illegible]. Von der [illegible] 0 - 1[illegible] [illegible] die [illegible] 0 - 33 [illegible] - 8 % noch einmal auf gesonderten Anzeigetafeln gespreizt. Die Tonwerte weiß-grau-schwarz können am Fernsehgerät geeicht und tiefenscharf eingestellt werden. Das Monitorbild von der Größe 20 x 30 cm zeigt zur Kontrolle den jeweils gefilmten Ausschnitt des mikroskopischen Bildes. Das Aufsichtsmikroskop war mit mehreren Objektiven mit den Vergrößerungen 5-, 50-, 100-, 500- und 1000fach bestückt.

V. [illegible]

[illegible]

Die Lunker der durch den TRICASTER hergestellten Güsse waren feiner und zahlreicher und reichten von der Gußoberfläche bis tief ins Gußinnere. Die Güsse, die mit der DEGUSSA-Schleuder hergestellt wurden, zeigten hingegen weniger aber größere Lunker. Die Zwischenglieder, die mit dem TRICASTER und der Masse DEGUVEST-HFG unter Vakuum gegossen wurden, wiesen über der ganzen Schlifffläche zahlreiche, sehr feine, gleichmäßig verteilte Lunker auf.

Bei der mikroskopischen Auswertung der Güsse wurden alle Makro- und Mikroporositäten (Lunker, Gaseinschlüsse und Verunreinigungen) gleichmäßig erfaßt und deren prozentualer Anteil auf der Schliffoberfläche mit Hilfe des "Quantimets" ermittelt.

Der Hals und der Gußkanal des Gußstückes wurden mit einer Schablone abgedeckt, so daß ein halbkreisförmiges Schliffbild zu beobachten war. Die Auszählung erfolgte bei 50facher Vergrößerung. An der gegenüber dem Gußkanal liegenden Ecke des Gußstückes wurde die Auszählung mit der obersten Reihe begonnen und endete mit der untersten Reihe am Boden des Zwischengliedes. Durch jeweils eine Umdrehung an der Mikrometerschraube entstand ein neuer, daneben liegender Bildausschnitt.

Nach Auszählung der obersten Reihe folgten die darunter liegenden, die ebenfalls durch eine Umdrehung an der anderen Mikrometerschraube des Kreuztisches eingestellt wurden. Auf diese Art und Weise konnten 62 Fernsehbilder pro Schliff ausgewertet werden (siehe Abbildung 5). Der "Quantimet" gab den Anteil der hellen Flächen (Lunker) gegenüber den dunklen Flächen (Metall) eines jeden Fernsehbildes in Prozenten an.

Ein Schliff ergab also 62 Meßstellen. Die 10 Schliffe einer jeden Gußserie erbrachten 620 Meßergebnisse, die als Ausgangswerte für die statistischen Vergleiche zwischen den einzelnen Gußverfahren herangezogen werden konnten.

Bei der mikroskopischen Auszählung der Lunker der 50 Schliffe ergaben sich folgende Werte:

Serie I.: TRICAST.., BEAUTY-CAST mit Vakuum (Lunkerbefall in %)

1. Schliff	2. Schliff	3. Schliff	4. Schliff	5. Schliff
3,[illegible] %	[illegible],2 %	1,8 %	[illegible],[illegible]	6,6 %
4,[illegible]	8,[illegible]	24,2	[illegible]	2,2
5,0	1,[illegible]	22,5	[illegible]	5,6
7,[illegible]	7,[illegible]	20,5	[illegible]	13,0
1,[illegible]	7,[illegible]	15,0	[illegible]	17,1
13,[illegible]	[illegible]	12,0	[illegible]	23,6
[illegible]	[illegible]	14,0	[illegible]	22,0
7,[illegible]	2,[illegible]	15,1	[illegible]	18,5
13,0	7,[illegible]	5,6	[illegible]	8,8
7,2	[illegible]	1,2	[illegible]	[illegible],0
[illegible]	[illegible]	0,2	[illegible]	4,1
[illegible]	1,[illegible]	0,3	[illegible]	,6
[illegible]	0,[illegible]	1,2	[illegible]	[illegible],2
[illegible]	[illegible]	2,6	[illegible]	[illegible],2
[illegible]	[illegible]	13,0	[illegible]	[illegible],8
[illegible]	[illegible]	14,1	[illegible]	4,1
[illegible]	[illegible]	9,5	[illegible]	14,[illegible]
[illegible]	[illegible]	10,8	[illegible]	[illegible],[illegible]
[illegible]	[illegible]	11,2	[illegible]	[illegible],0
[illegible]	[illegible]	11,2	[illegible]	11,[illegible]
[illegible]	[illegible]	11,5	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible],5	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible],8	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible],2	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible],2	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible],2	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible],8	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible],9	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible],4	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible],6	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible],4	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible],5	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible],2	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible],2	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible],6	[illegible]	[illegible]

Serie I.: TRICASTER, BEAUTY CAST mit Vakuum (Lunkerbefall in %)

6. Schliff	7. Schliff	8. Schliff	9. Schliff	10. Schliff
4,[illegible] %	17,[illegible] %	3,2 %	[illegible] %	[illegible]
5,[illegible]	32,[illegible]	12,0	[illegible]	[illegible]
10,[illegible]	45,[illegible]	17,5	1[illegible],[illegible]	19,[illegible]
10,[illegible]	50,[illegible]	12,0	[illegible]	3[illegible],
6,[illegible]	50,[illegible]	7,6	[illegible]	4[illegible],
8,[illegible]	55,[illegible]	9,5	[illegible]	3[illegible],
11,[illegible]	59,[illegible]	13,0	[illegible]	3[illegible],
7,[illegible]	52,[illegible]	14,7	[illegible]	3[illegible],
6,[illegible]	31,[illegible]	16,3	[illegible]	1[illegible],
7,[illegible]	[illegible],[illegible]	12,0	[illegible]	1[illegible],
8,[illegible]	0,	11,8	[illegible]	[illegible],
8,[illegible]	3,	6,1	[illegible]	[illegible],
8,[illegible]	14,[illegible]	2,2	[illegible]	[illegible],
9,[illegible]	1,	5,8	[illegible]	[illegible],
8,[illegible]	0,[illegible]	24,5	[illegible]	[illegible],
10,[illegible]	24,[illegible]	16,0	[illegible]	[illegible],
9,[illegible]	32,[illegible]	20,5	1[illegible]	1[illegible],
9,[illegible]	41,[illegible]	19,6	[illegible]	1[illegible],
8,[illegible]	27,	18,0	1[illegible]	[illegible],
8,[illegible]	19,[illegible]	15,0	14,[illegible]	1[illegible],
6	15,[illegible]	11,1	14,[illegible]	[illegible],
10 3	21,	7,8	10,[illegible]	[illegible],
10[illegible]	4,[illegible]	3,9	[illegible]	[illegible]
10[illegible]	1,[illegible]	0,2	[illegible]	[illegible]
10[illegible]	0,[illegible]	0,6	[illegible]	[illegible]
8[illegible]	1,[illegible]	0,5	[illegible]	[illegible]
6[illegible]	1,[illegible]	1,0	[illegible]	[illegible]
2[illegible]	0,[illegible]	1,2	[illegible]	[illegible]
2,[illegible]	0,[illegible]	2,1	[illegible]	[illegible]
2,[illegible]	1,[illegible]	2,0	[illegible]	[illegible]
2[illegible]	[illegible]	0,[illegible]	[illegible]	[illegible]
14,[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
12,[illegible]	[illegible]	0,1	[illegible]	[illegible]
8,[illegible]	3,[illegible]	3,2	[illegible]	[illegible]
7,[illegible]	[illegible]	2,0	[illegible]	[illegible]
11[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Um den durchschnittlichen Lunkerbefall eines jeden Schliffes zu erhalten, wurde aus den 62 Meßergebnissen jeweils der arithmetische Mittelwert berechnet. Da sich der Mittelwert einer Gußserie aber aus 10 Einzelwerten zusammensetzt, wird eine Standardabweichung aus allen Durchschnittswerten errechnet, um die Streuung der Einzelglieder um den Mittelwert zu berücksichtigen.

Tabelle 1

Die Mittelwerte eines jeden Schliffes.

Serien:	I	II	III	IV	V
	4,36%	5,69%	2,96%	5,12%	4,45%
	3,17	4,46	3,74	8,17	2,89
	5,74	5,93	2,74	4,86	3,56
	7,26	2,88	3,77	5,62	5,50
	5,47	4,83	4,61	4,97	4,23
	6,27	[illegible]	4,21	[illegible],47	[illegible],14
	11,43	7,61	4,26	9,94	3,92
	5,26	7,48	3,47	7,15	4,12
	2,98	9,16	2,44	6,63	3,29
	6,80	5,38	4,38	6,46	4,34

Tabelle 2

Der Mittelwert einer jeden Serie und die dazugehörigen Standardabweichungen (die Ergebnisse der Standardabweichungen siehe Tabelle 5 im Anhang).

		M	S
Tricaster, Beauty-Cast, + Vakuum:	(I)	5,87%	2,631
Tricaster, Beauty-Cast, - Vakuum:	(II)	5,07%	1,836
Degussa, Deguvest MFG, - :	(III)	3,65%	0,784
Degussa, Beauty-Cast, - :	(IV)	6,84%	1,807
Tricaster, Deguvest MFG, + Vakuum:	(V)	4,15%	0,773

(M = Mittelwert, S = Standardabweichung)

M (III) < M(V) < M(I) < M(II) < M(IV)

S (V) < S(III) < S(IV) < S(II) < S(I)

Um die Verteilung der Mittelwerte und Standardabweichungen der fünf Serien vergleichen zu können, werden die Mittelwerte eines jeden Gusses je nach der Häufigkeit und der Gesamtmittelwert mit den errechneten Standardabweichungen jeweils einer Serie in ein Koordinatensystem eingezeichnet (siehe Abbildung6)

Der mittlere Lunkerbefall der einzelnen Gußserien gibt jedoch noch keinen Aufschluß über die Leistungen der beiden Gußapparate. Um zu prüfen, ob der Vakuumguß bzw. der Kaltguß einen Einfluß auf den Lunkerbefall des Gußstückes ausübt, wurden drei statistische Verfahren ausgeführt:

a) zur Prüfung des Vakuumgusses: der t-Test
b) zur Prüfung des Kalt- und Heißgusses bzw. des Gerätetypes: die Varianzanalyse
c) zur Prüfung der Verteilung der Lunker im Gußstück: der Rangtest nach WILCOXON für unverbundene Stichproben

a) <u>Der t-Test</u>

Der t-Test ist ein Testverfahren für zwei Mittelwertsvergleiche. Um Unterschiede zwischen dem Mittelwert der Serie I (Tricaster, Beauty-Cast, + Vakuum) und dem Mittelwert der Serie II (Tricaster, Beauty-Cast, - Vakuum) festzustellen, müssen die Differenzen zwischen den 10 einzelnen Mittelwerten der Serie I und Serie II in paarweiser Zuordnung auf Signifikanz geprüft werden. Das negative Ergebnis des Testes zeigt, daß kein Unterschied zwischen dem Vakuumguß und dem Guß ohne Vakuum besteht. Da die Serie V ebenfalls mit dem Vakuumgußverfahren hergestellt wurde, wurde auch hier ein vergleichender Mittelwertstest mit der Serie I

ausgeführt. Da beide Serien unter Vakuum hergestellt und verschiedene Einbettmassen benutzt wurden, zeigt das Ergebnis des zweiten t-Testes lediglich einen Unterschied zwischen den beiden Gußserien und gibt keine Aussage über die Wirkung des Vakuums beim Gußverfahren.

(Tabelle 6 + 7: t-Test zwischen den Serien I und II und den Serien I und V siehe Anhang).

b) <u>Die Varianzanalyse</u>

Mit dem t-Test wurde lediglich geprüft, ob ein Unterschied zwischen dem Gießen mit oder ohne Vakuum besteht, da die zu erwartenden Differenzen nur durch einen einzigen Faktor (Vakuum) verursacht sind. Verursachen aber mehrere Faktoren (Kalt- und Heißguß, Tricaster und Degussa-Schleuder) die Unterschiede zwischen statistischen Meßzahlen, so muß nach WEBER, E., zur Prüfung der Differenz zwischen einer Reihe von Mittelwerten erst eine Varianzanalyse vorgenommen werden (35). Die Unterschiede zwischen den einzelnen Mittelwerten $\bar{x}_j$ müssen [illegible] Kontraste L_k getestet werden, um die Variationsursache festzustellen.

$$L_k = \sum_{j=1}^{S} x \; C_{kj} \; x \; \bar{x}_j$$

Zu prüfen sind zwei verschiedene maschinelle Verfahren $V_1 + V_2$ (Tricaster - Degussa-Schleuder) und zwei verschiedene Gußverfahren $R_1 + R_2$ (Kaltguß, Beauty-Cast und Heißguß, Deguvest HFG).

Es sind vier Kombinationen möglich:
R_1V_1, R_1V_2, R_2V_1 und R_2V_2.

Die Hauptwirkung dieser Kombinationen drückt sich in den Mittelwerten $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$, $\bar{x}_3$, $\bar{x}_4$ aus, die den Kombinationen entsprechen.

Tabelle 3

Masse:	Gerät:	
	Tricaster V_1	Degussa V_2
Beauty-Cast R_1 (kalt)	Serie I $\bar{x}_1 = 5,87$	Serie IV $\bar{x}_2 = 6,84$
Deguvest HFG R_2 (heiß)	Serie V $\bar{x}_3 = 4,15$	Serie III $\bar{x}_4 = 3,66$

Serie II im t-Test geprüft.

Zur Prüfung des Unterschiedes zwischen Tricaster und Degussa-Schleuder ergibt sich folgender Kontrast:

1) $L_1 = (\bar{x}_1 + \bar{x}_3) - (\bar{x}_2 + \bar{x}_4) = -0,48$

Zur Prüfung des Unterschiedes zwischen Kaltguß (Beauty-Cast) und Heißguß (Deguvest HFG) ergibt sich der Kontrast:

2) $L_2 = (\bar{x}_1 + \bar{x}_2) - (\bar{x}_3 + \bar{x}_4) = 4,90$

Zur Prüfung der Wechselwirkungen zwischen Geräten und Gußverfahren, also zur Feststellung eines Unterschiedes

zwischen den Geräten bei dem Kaltguß gegenüber dem Heißguß oder zur Feststellung eines Unterschiedes zwischen den Gußverfahren bei dem Tricaster gegenüber der Degussa-Schleuder, ergibt sich der Kontrast:

$$3)\ L_3 = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\bar{x}_3 - \bar{x}_4) = -(\bar{x}_1 - \bar{x}_3) - (\bar{x}_2 - \bar{x}_4) = -1{,}46$$

Damit sind zwischen den vier Mittelwerten drei Kontraste aufgestellt.

Tabelle 4

Tafel der Varianzanalyse

Variationsursache	SQ	FG	MQ	E(MQ)
Kontrast 1	rL_1^2	1	rL_1^2	$\sigma_e^2 + rL_1^2$
Kontrast 2	rL_2^2	1	rL_2^2	$\sigma_e^2 + rL_2^2$
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
Kontrast s-1	rL_{s-1}^2	1	rL_{s-1}^2	$\sigma_e^2 + rL_{s-1}^2$
Zwischen den Gruppen	SQZ	s-1	MQZ	$\sigma_e^2 + \frac{r}{s-1}\sum(\mu_j-\mu)$
Innerhalb der Gruppen	SQI	s(r-1)	MQI	σ_e^2
Insgesamt	SQT	n-1		

entnommen aus WEBER, E., Seite [illegible])

Die Testgröße beträgt: $\frac{D_k^2}{\sigma_e^2} = \frac{r \cdot L_k^2}{\sum_{i=1}^{4} \cdot [illegible]} : \sigma_e^2$

σ_e^2 = Varianz der Normalverteilung

σ_e^2 wird geschätzt durch: MQI

$$MQI = \frac{S\,Q\,I}{40-4} = \frac{\sum_{j=1}^{4} \cdot \sum^{10} \cdot (F_{ij} - F_j)^2}{36} = \quad ,59$$

36 = Freiheitsgrade

Die um 1 verminderte Zahl der Beobachtungen wird als Freiheitsgrade bezeichnet. Da 4 Mittelwerte berechnet sind, sind 4 Freiheitsgrade weniger vorhanden.

Die Vergleichswerte werden nach der F-Verteilung errechnet.

$F_{o,99} : 1,36 \quad = 7,4$

$F_{o,95} : 1,36 \quad = 4,11$

Man erhält: 1) $D_1^2 : \sigma_e^2 = 0,[illegible] < [illegible]$ nicht significant

2) $D_2^2 : \sigma_e^2 = 23,1345 > 7,4$ significant

3) $D_3^2 : \sigma_e^2 = [illegible] < 4,11$ nicht significant (6)

Das Ergebnis zeigt, daß lediglich ein Unterschied zwischenKalt- und Heißguß (2) significant ist.

c) Der Rangtest nach WILCOXON für unverbundene Stichproben

Um eine Aussage darüber machen zu können, ob der Kalt- oder der Heißguß im Bezug auf die Verteilung der Lunker im Gußstück besser ist, oder aber ob das Heißgußverfahren mit der Degussa-Schleuder (Serie III) bzw. mit dem Tricaster (Serie V) sich als günstiger erweist, wurde für den Vergleich von je 2 Gruppen der Rangtest nach WILCOXON für unverbundene Stichproben durchgeführt.

Der oberflächliche Vergleich der Schliffbilder und der Verteilungskurven der Mittelwerte der Serien III und V läßt erkennen, daß die Häufigkeit der Lunker bei beiden Serien etwa gleich, die Verteilung im Gußstück aber unterschiedlich ist. Bei den Güssen der Degussa-Schleuder liegen die Lunker und Gaseinschlüsse im Einströmungsbereich des Gußkanals an der Oberfläche des Gußstückes. Die Schliffbilder der Serien I und IV zeigen eine noch größere Anhäufung der Lunker an der Gußoberfläche.

Mit dem Rangtest nach WILCOXON für unverbundene Stichproben wird die Anzahl der Felder (Fernsehbilder) mit Meßwerten über 10 % Lunkerbefall der Serien I mit IV (Kaltguß) und der Serien V mit III (Heißguß) verglichen. Den Meßwerten von jeweils zwei Serien werden Rangnummern je nach ihrer Größe (steiger. Verteilung) zugewiesen. Der kleinste Meßwert erhält die Nr. 1, der größte Meßwert die letzte Nummer. Gleiche Werte innerhalb einer Serie erhalten fortlaufende Ordnungszahlen, gebundene Werte zwischen den beiden Serien erhalten den Mittelwert der an dieser Stelle befindlichen Ordnungszahlen. Beide Serien werden durchgehend nummeriert.

Die Summe der Rangnummern (S) der kleineren Gruppen (I + V) wurde zur Prüfung der Signifikanz in einer Tabelle der Vertrauensgrenzen für die Rangnummer des WILCOXON-Tests verglichen.

Beide Rangtests wiesen keine statistisch gesicherten Unterschiede zwischen den Gußapparaten Degussa-Schleuder und Tricaster beim Kalt- und beim Heißguß auf (6).

1. Rangtest: $S_1 = 86$; $S_2 = 114$ Signifikanzschranken (71-139)

2. Rangtest: $S_1 = 73$; $S_2 = 137$ (zweiseitig, bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit)

Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% (Signifikanzschranken: zweiseitig 78-132 einseitig 82-128) ist nur das Ergebnis des 2. Rangtests statistisch auffällig, da nur diese Summen außerhalb der Vertrauensgrenzen liegen. (siehe Tabelle 8 und 9 im Anhang).

VI. Experimentelle Untersuchungen über die Gasdurchlässigkeit der Einbettmassen: Beauty-Cast und Deguvest HFG

Um das statistische Ergebnis zu bekräftigen, wurden die beiden Einbettmassen Beauty-Cast und Deguvest HFG auf ihre Gasdurchlässigkeit untersucht. Die Einbettmassen Beauty-Cast und Deguvest HFG wurden getrennt unter Vakuum angemischt und in zylindrische Prüfkörper von 50 mm Höhe und 50 mm Durchmesser gegossen. Nach dem Abbinden und Trocknen der Einbettmassen wurden die Prüfkörper für 30 Minuten bei 280°C vorgewärmt, anschließend

30 Minuten bei 500°C (Beauty-Cast) bzw. bei 750°C erhitzt.

Um bei anschließender Abkühlung der Einbettmassen eine Wiederaufnahme von Luftfeuchtigkeit zu vermeiden, wurden die Prüfkörper in einen Exsikkator gestellt. Nach Abkühlung der Prüfkörper wurden die Einbettmassen auf ihre Gasdurchlässigkeit mit Hilfe des Gasdurchlässigkeitsprüfapparates Typ PDU der Firma Georg Fischer AG (Schweiz) nach DIN 52401 geprüft. Das Gerät besteht aus einer Tauchglocke mit einem Fassungsvolumen von 2000 cm^3 Luft, einem Manometer und einer Düse mit einem Aufsatzstück für den Prüfkörper. Das Eigengewicht der Glocke treibt die Luft über einen Manometer durch die Düse, auf der der Prüfkörper mit der Einbettmasse aufgesteckt wird.

Die Gasdurchlässigkeitszahl Gd zeigt, wieviel cm^3 Luft bei einem Überdruck von 1 cm Wassersäule in 1 Minute durch einen Zylinder von 1 cm^2 Querschnitt und 1 cm Höhe durchschnittlich hindurchgehen.

$$Gd = \frac{Q \cdot h}{F \cdot p \cdot t}$$

Q = durchströmendes Luftvolumen (2000 cm^3)
h = Höhe des Prüfkörpers (5 cm)
F = Querschnittsfläche des Prüfkörpers (19,63 cm^2)
p = [illegible]
t = Durchströmzeit für 2000 cm^3 Luft in Minuten

p und t können an der Manometerskala abgelesen werden.

Die Prüfkörper wurden eine Stunde auf dem Gasdurchlässigkeitsprüfapparat belassen. Eine Durchströmzeit und somit der effektive Druck der Luftsäule konnten am

Manometer nicht abgelesen werden. Eine Gasdurchlässigkeit der Einbettmassen, die für den Vakuumguß mit dem Tricaster unerläßlich ist, konnte nicht registriert werden.

D. Resultate und Schlußfolgerungen

Beim Gießen mit oder ohne Vakuum konnten keine Unterschiede hinsichtlich des Auftretens von Lunkern oder Gaseinschlüssen in den Güssen der Zwischenglieder statistisch mit dem t-Test nachgewiesen werden (Tabelle 4). Die Untersuchungen der Einbettmassen Deguvest HFG und Beauty-Cast zeigten mit dem zur Verfügung stehenden Gerät keine Gasdurchlässigkeit, die für den Vakuumguß mit dem TRICASTER-Gußautomaten an sich unerläßlich ist (VI). Da bei dem TRICASTER die Evakuierung der Hohlform durch die Einbettmasse erfolgt und die Schmelze nicht unter Vakuum vergossen wird, um eine Aufnahme von Gasen oder eine Oxydation des Gußgutes zu vermeiden, kann von einem Vakuumguß im eigentlichen Sinne daher nicht gesprochen werden.

Unterschiede in der Gußqualität, gemessen an dem mittleren prozentualen Lunkerbefall zwischen TRICASTER [illegible] SGA-[illegible], bzw. [illegible] Wechselwirkungen zwischen Geräten und Einbettmassen, konnten statistisch nicht bewiesen werden.
Die Varianzanalyse und die Verteilungskurven des Lunkerbefalls der fünf Serien zeigen jedoch einen deutlichen Unterschied zwischen dem Kaltguß (TRICASTER und Beauty-Cast) und dem Heißguß (DEGUSSA-Schleuder und Deguvest HFG) zugunsten des Heißgusses. Eine Gefügeverdichtung beim Kaltguß war auf dem Ätzbild ebenfalls nicht zu erkennen. Auch nach den Schliffbildern kann man dem Heißguß den Vorzug geben, da beide Gußapparate (DEGUSSA-Schleuder und TRICASTER) beim Gießen in die heiße Muffel (Serie III und Serie V) die wenigsten Lunker- und Gaseinschlüsse aufweisen. Auch FUCHS (9) [illegible] "Über den Einfluß der Gußapparate

auf die Qualität des zahnärztlichen Gusses", daß die Güsse, die mit der DEGUSSA-Schleuder und dem ADLER-Druckluftautomaten hergestellt wurden, eine ähnliche Lunkerverteilung im Schliffbild aufweisen, wie die Güsse der DEGUSSA-Schleuder und des TRI-CASTERS. Andererseits aber waren nach dem WILCOXON-Test für unverbundene Stichproben keine statistisch signifikanten Unterschiede festzustellen, ob sich beim Heißgußverfahren die beiden Gußapparate in ihrer Lunkerverteilung unterschieden.

E. Zusammenfassung

Zur Untersuchung standen zwei Gußapparate mit unterschiedlichen Gußverfahren zur Verfügung, erstens der Kalt- und der Heißguß, zweitens der Guß mit und ohne Vakuum. Bei dem TRICASTER-Gußautomaten wurde das Metall in eine relativ "kalte" (400°C) und evakuierte Hohlform gegossen, bei der DEGUSSA-Gußschleuder in eine "heiße" (750°C) und nicht evakuierte Form. Insgesamt wurden 50 modifizierte Brückenzwischenglieder gegossen: 10 Güsse mit der Kaltgußmaschine TRICASTER [illegible] Vakuum und 10 Güsse ohne Vakuum, weitere 10 Güsse mit der DEGUSSA-Gußschleuder in die heiße und 10 Güsse in die kalte, nicht evakuierte Form. Die letzten 10 Güsse wurden mit der Kaltgußmaschine TRICASTER in die heiße, evakuierte Form gegossen. Alle Gußproben wurden auf ihren Lunkerbefund hin geprüft. Nachdem die Güsse in Richtung des Gußkanals halbiert und jeweils eine der Hälften plan geschliffen waren, konnte der Lunkerbefall an der Schliffoberfläche mit Hilfe des "Quantimets" gemessen werden. Der Quantimet ist ein Gerät der Metallurgie, bestehend aus einem Aufsichtsmikroskop mit eingebauter Fernsehkamera, einem Monitor und einem Auszählgerät, das den prozentualen Anteil der Schwarz-Weiß-Werte eines jeden Fernsehbildes mit Hilfe einer Selenzelle angibt. Die abgelesenen Meßwerte wurden untereinander statistisch verglichen. Ein Unterschied zwischen den Güssen mit oder ohne Vakuum konnte weder [illegible] stehenden Gasdurchlässigkeitsprüfapparat festgestellt werden. Es zeigte sich lediglich ein Unterschied zwischen dem Kalt- und Heißguß. Bei beiden Gußautomaten [illegible]

gebnisse. Der prozentuale Anteil der Hohlräume im Gußstück war aber bei beiden Maschinen annähernd gleich, Größe und Lage der Lunker im Schliffbild jedoch unterschiedlich. Bei den mit der DEGUSSA-Schleuder hergestellten Gußproben traten nur wenige aber größere Lunker auf. Sie erstreckten sich zu beiden Seiten des Einstromgebietes bis zu den Randpartien an der Oberfläche des Gußstückes. Die Lunker der durch den TRICASTER-Gußautomaten hergestellten Güsse waren hingegen kleiner und zahlreicher; sie verteilten sich über die ganze Schliffoberfläche. Statistisch significante Unterschiede ließen sich hierbei aber nicht feststellen.

F. Bildteil

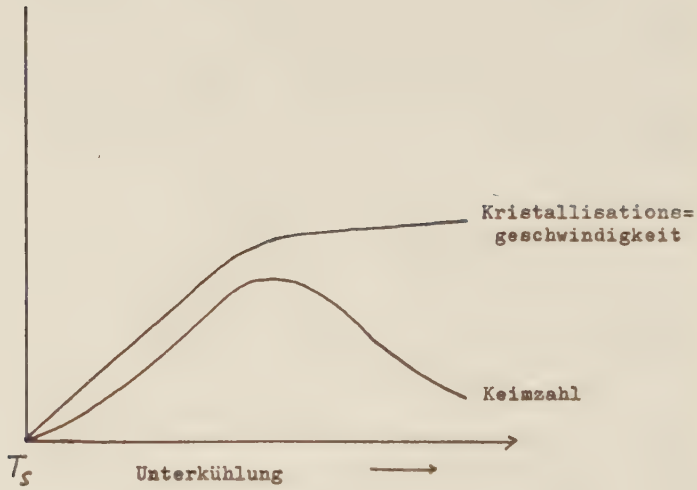


Abbildung 1.

Abhängigkeit der Keimzahl und Kristallisationsgeschwindigkeit von der Abkühlungsgeschwindigkeit (nach WASSERMANN (34)).

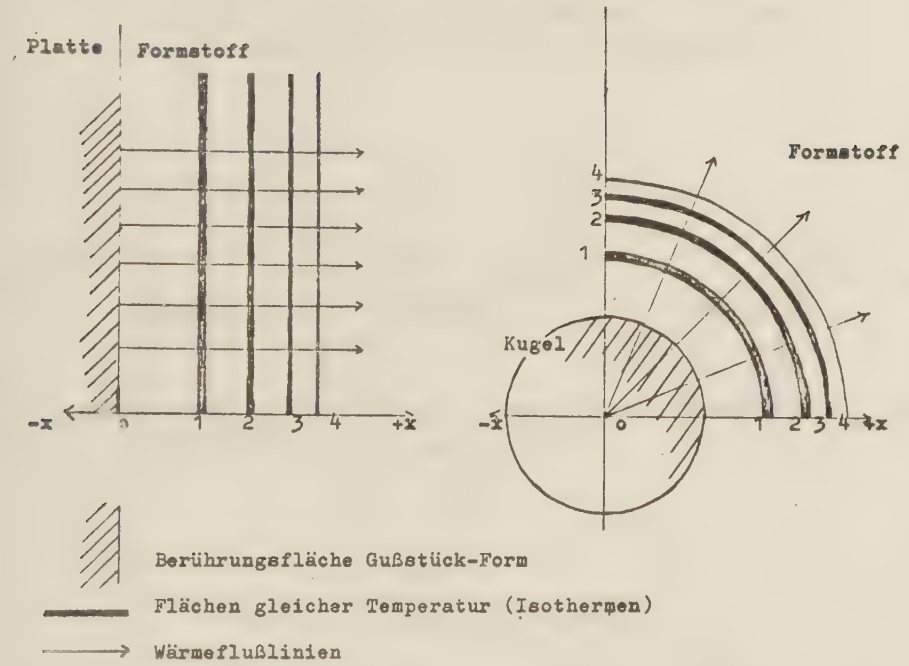
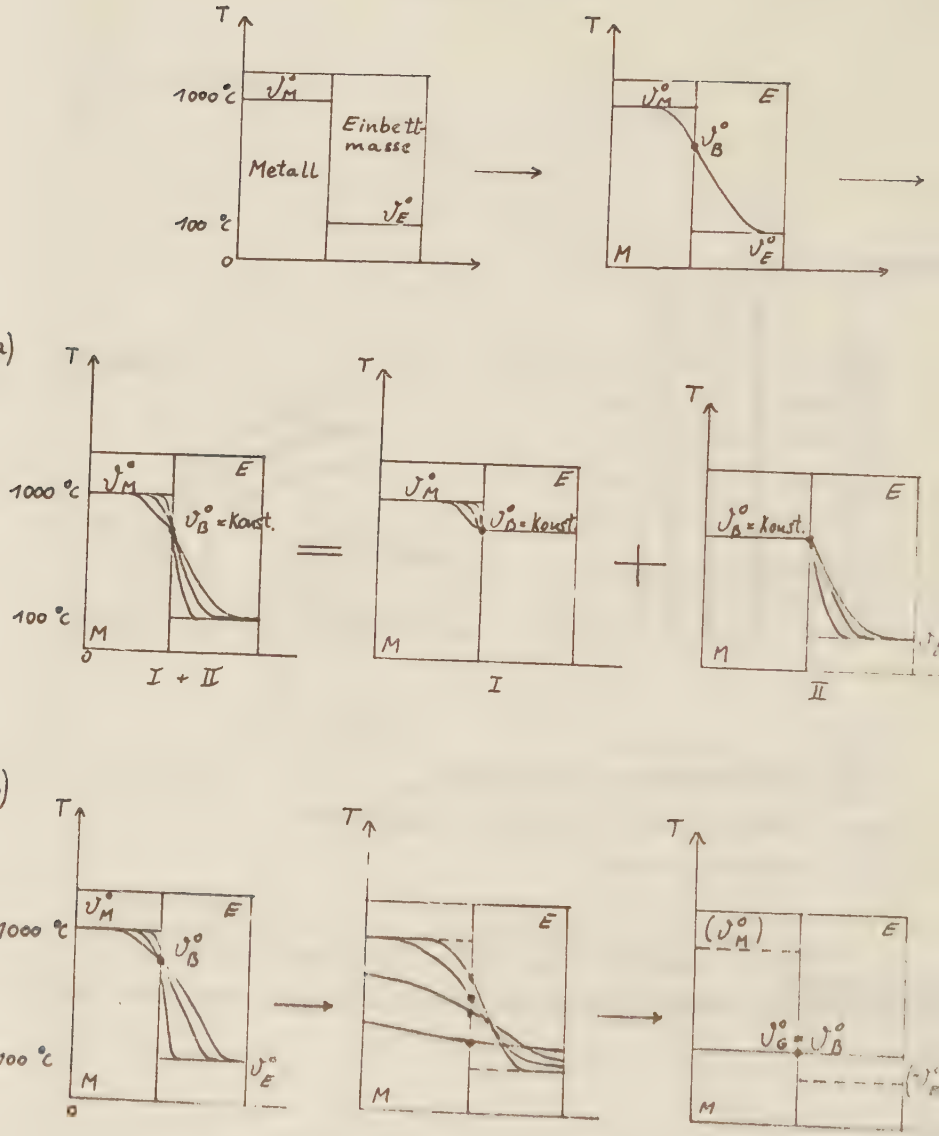


Abbildung 2.
Isothermen und Wärmeflußlinien bei Platten und Kugeln (nach KOPPE (19)).



Berührungstemperatur : ϑ_B^o

Ausgangstemperaturen : $\vartheta_M^o + \vartheta_E^o$

Wärmediffusionsvermögen der Körper : $b_M + b_E$

$$\vartheta_B^o = \frac{b_M \cdot \vartheta_M^o + b_E \cdot \vartheta_E^o}{b_M + b_E}$$

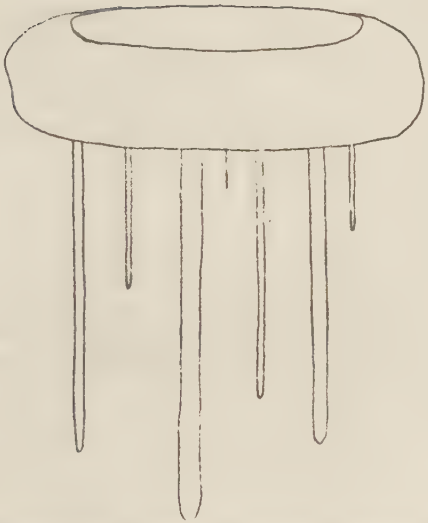
Abbildung 3.

Erläuterung des Temperaturverlaufs in zwei Körpern unterschiedlic
Ausgangstemperaturen (n. KOPPE (19)).

a) Idealisierung während der Erstarrung

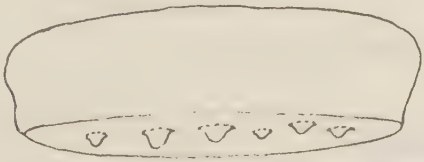
b) Idealisierung während der Abkühlung

a)



max.Länge der ausgeflossenen Stangen etwa 200 mm bei einem Durchmesser von 0,4 mm

b)



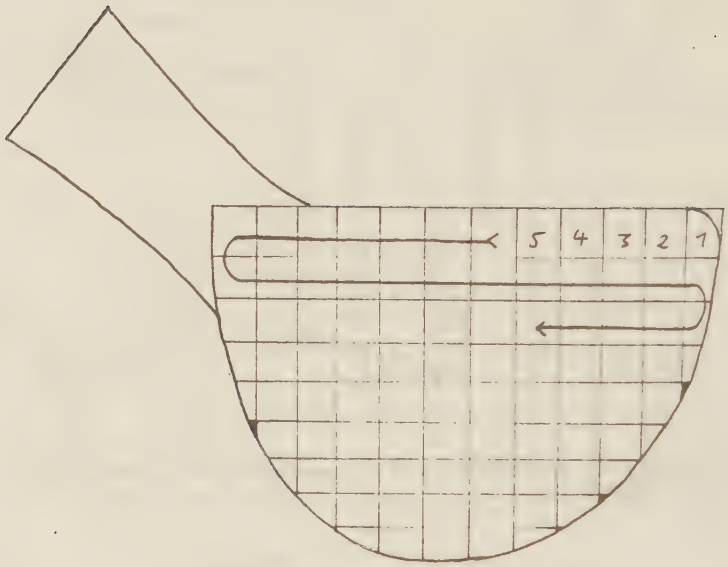
keine der Stangen ist ausgeflossen

Abbildung 4.

Schematische Darstellung eines Reinaluminiumgusses, der

a) unter Vakuum

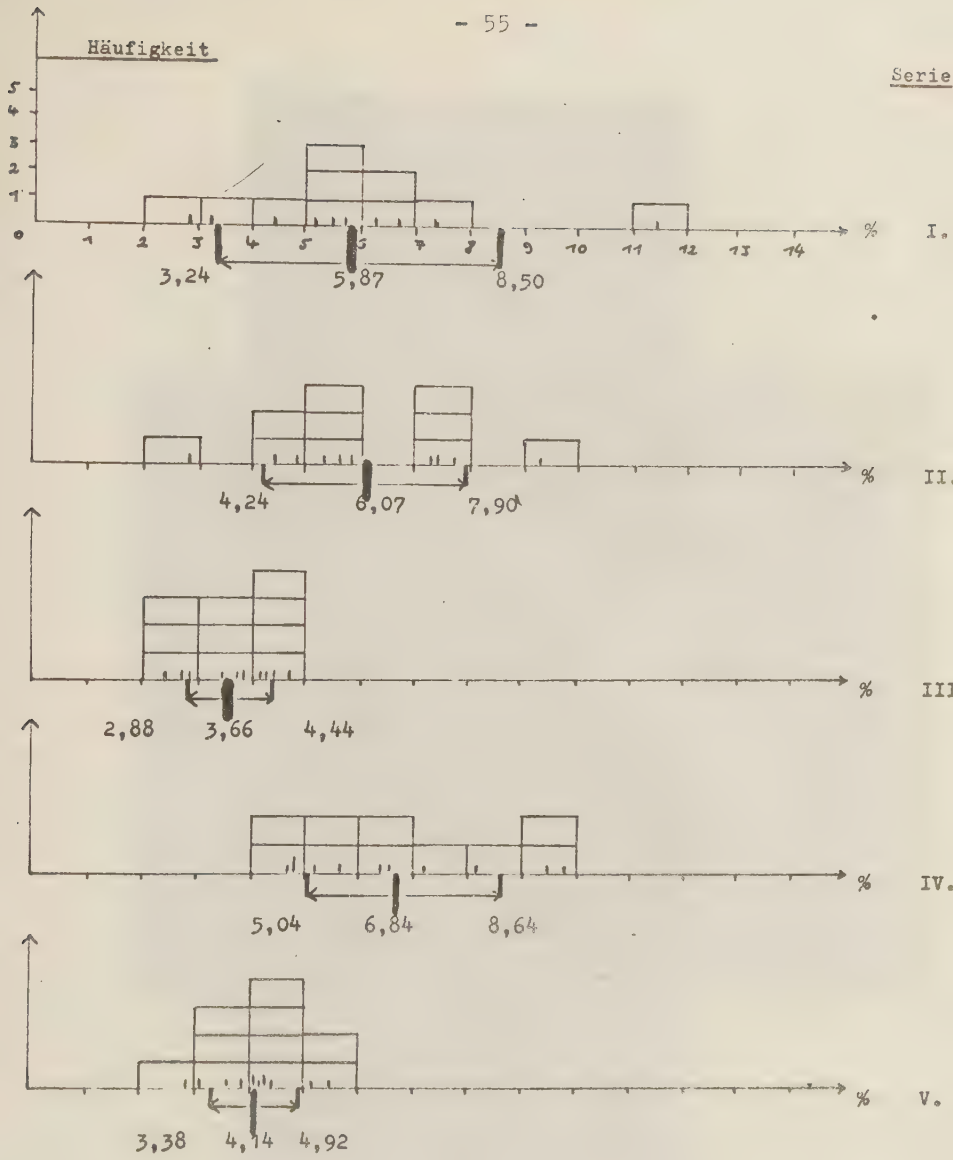
b) ohne Vakuum vergossen wurde (nach LUNN (24)).



Vergrößerung etwa 12fach

Abbildung 5.

Skizze für die Einteilung der Fernsehbilder für das Auszählverfahren mit dem QUANTIMET.



: Mittelwert

: Gesamtmittelwert

: Standardabweichung vom Gesamtmittelwert

Abbildung 6.
Verteilungskurve der einzelnen Mittelwerte und die Mittelwerte der fünf Serien mit den Standardabweichungen

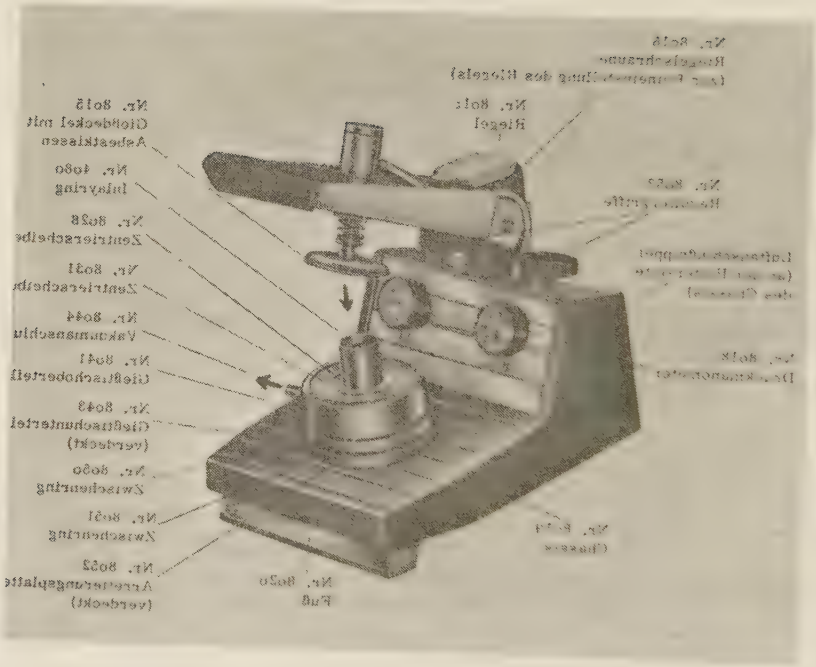

Nr. 8015
Glühdeckel mit
Asbestdichtung
Nr. 4080
Dichtring
Nr. 8028
Zentrierscheibe
Nr. 8031
Zentrierscheibe
Nr. 8044
Vakuumanschluß
Nr. 8041
Glühtischoberteil
Nr. 8043
Glühtischunterteil
(verdeckt)
Nr. 8050
Zwischenring
Nr. 8051
Zwischenring
Nr. 8052
Anpreßgewindeplatte
(verdeckt)
Nr. 8020
Fuß
Nr. 8014
(Bunsen)
Nr. 8018
Nr. 8013
Nigrol

Abb. - [illegible] der [illegible]

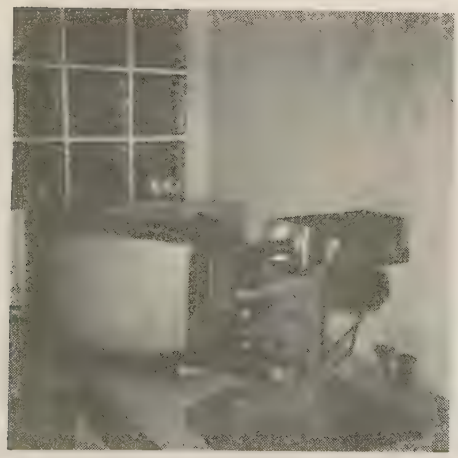


Abb. - Der [illegible]

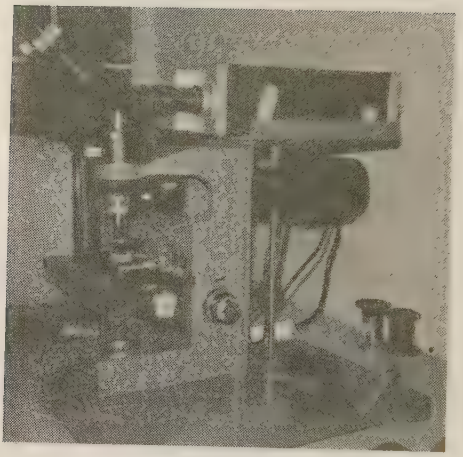


Abb. 10 - Das Aufsichtsmikroskop
mit eingebauter Fernsehkamera

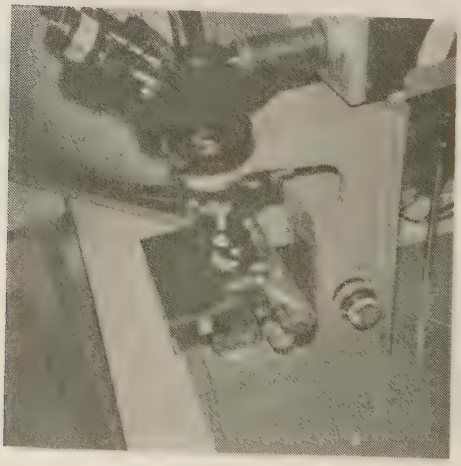
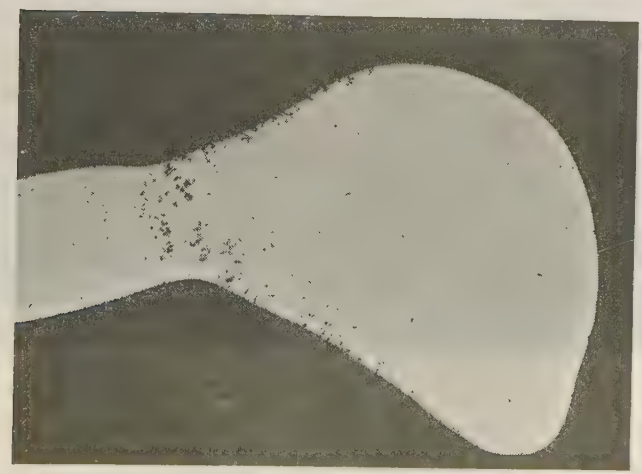


Abb. 11 - Der Meßtisch

[illegible] - [illegible] durch den TRICASTER
[illegible]: [illegible]-CAST, mit [illegible]
([illegible])
[illegible]



[illegible] - [illegible] DEGUSSA-Tie el-
[illegible] (elektrisch)
[illegible]: [illegible]-HFG (Heiß[illegible])
[illegible]

Abb. 14 - Zwischenglied auf durch den T[illegible]
[illegible]: [illegible]UTY-CAST, mit Vakuum
[illegible]
[illegible] 1[illegible] ch.

[illegible] - Zw[illegible] [illegible] urc[illegible]
[illegible] : [illegible]UTY-[illegible],
(K[illegible]
V[illegible] ch

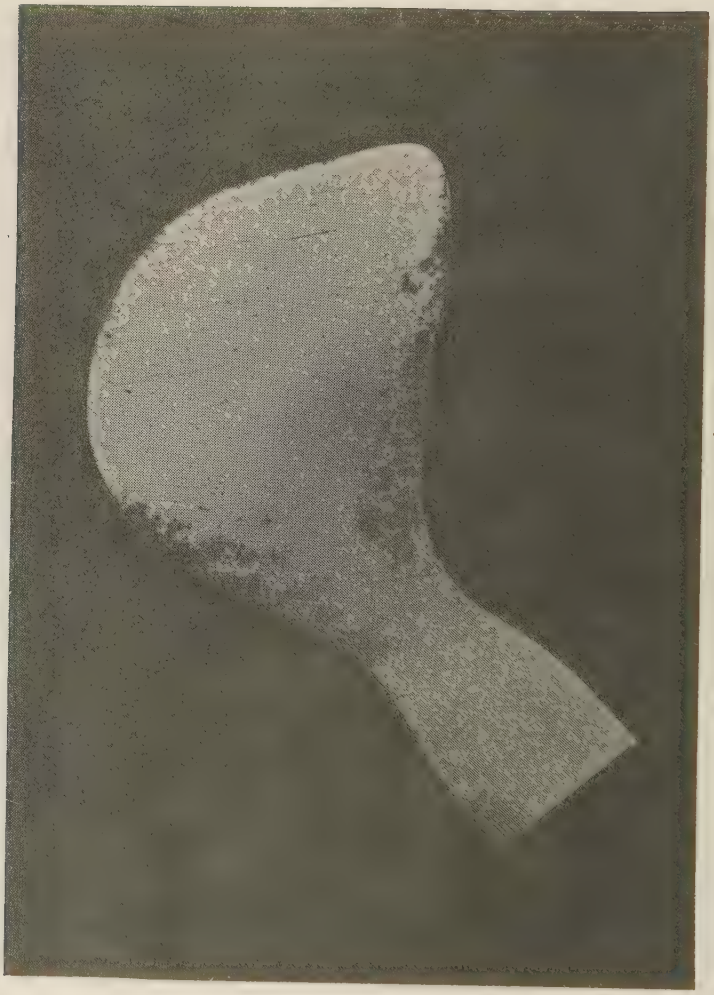


Abb. 10 – Zwischenbildguß durch die DEGUSSA-Tiegelschleuder
Einbettmasse: DEGUVEST-HFG
(Heißguß)
Vergrößerung 12fach

Abb. 17 - [illegible] durch die [illegible]-Tiefel-
[illegible]
[illegible]: [illegible]
([illegible])
Vergrößerung 12fach

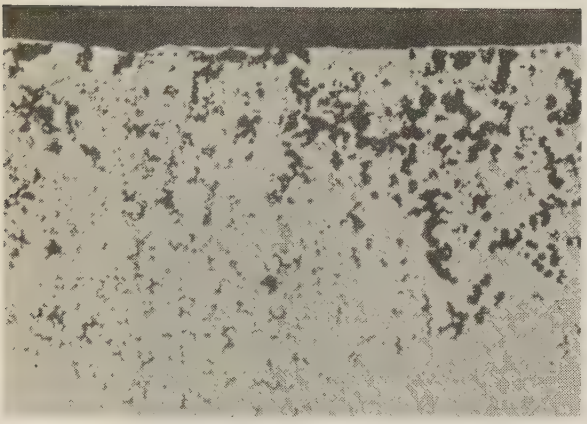


Abb. 19 - Makroporositäten an der Oberfläche eines durch den TMICASTER mit Vakuum hergestellten Zwischengliedes (Kaltguß)
Vergrößerung 50fach

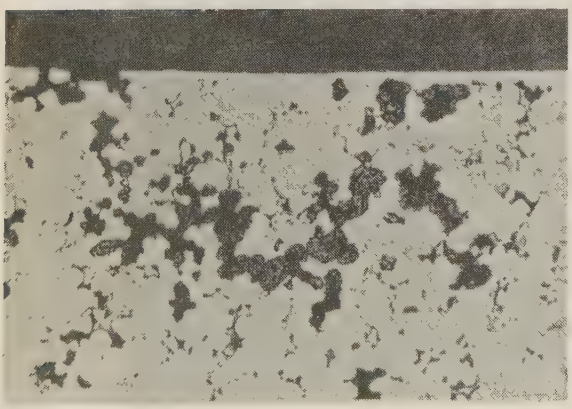
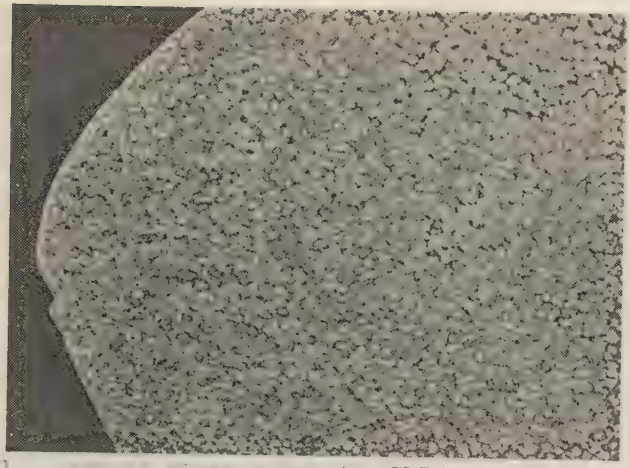
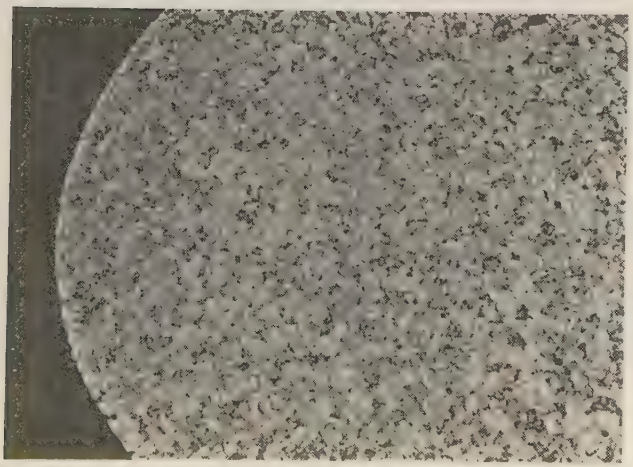


Abb. 20 - Ausschnitt aus Abb. 19
Vergrößerung 100fach



[illegible] den TRICASTER [illegible]



[illegible]

[illegible]b. [illegible] - [illegible]
[illegible] (Schweiz)

[illegible]

[illegible] nisse der Serien II bis V

Tabelle 1: [illegible]

[illegible] Serien I und II

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Serie [illegible]: [illegible], [illegible] CAGT ohne Vakuum (Dunkelrohr 11 i. [illegible])

1. Schliff	2. Schliff	3. Schliff	4. Schliff	5. Schliff
0,2 %	0,4 %	1,6 %	0,0 %	1,[illegible] %
3,3	[illegible]	2,6	0,1	[illegible]
11,6	10,[illegible]	19,[illegible]	8,[illegible]	1[illegible],[illegible]
1[illegible],[illegible]	1[illegible],[illegible]	24,2	13,[illegible]	[illegible],0
19,[illegible]	1[illegible],0	29,5	15,0	[illegible],[illegible]
22,0	19,[illegible]	22,5	15,5	21,[illegible]
[illegible],0	[illegible],[illegible]	27,0	13,[illegible]	[illegible],[illegible]
20,4	[illegible],2	23,1	15,[illegible]	1[illegible],1
18,2	20,0	23,0	10,[illegible]	[illegible],5
2,0	10,[illegible]	2,7	5,[illegible]	[illegible],[illegible]
7,9	[illegible],[illegible]	0,0	0,[illegible]	1[illegible],[illegible]
17,6	[illegible],9	8,0	7,[illegible]	1,[illegible]
1[illegible],[illegible]	1[illegible],0	11,[illegible]	4,[illegible]	[illegible],[illegible]
[illegible],[illegible]	11,[illegible]	6,1	4,0	[illegible],[illegible]
[illegible],[illegible]	[illegible],[illegible]	1,[illegible]	0,1	[illegible],[illegible]
14,2	[illegible],4	6,0	[illegible],2	[illegible],3
[illegible],2	7,2	4,1	[illegible],1	1,5
5,0	[illegible],4	2,[illegible]	5,0	1,[illegible]
6,3	4,0	5,3	7,9	[illegible],[illegible]
4,1	[illegible],[illegible]	4,4	3,3	[illegible],[illegible]
1,3	[illegible],0	4,[illegible]	[illegible],0	[illegible],2
1,0	[illegible],2	3,7	1,[illegible]	[illegible],4
0,6	1,0	2,2	0,1	[illegible],0
0,4	[illegible],4	2,0	0,3	[illegible],0
1,0	[illegible],2	2,0	0,2	[illegible],9
0,5	[illegible],6	3,1	0,[illegible]	[illegible],[illegible]
0,6	0,4	3,0	1,[illegible]	[illegible],1
0,6	0,1	2,3	0,5	[illegible],[illegible]
0,3	0,5	2,[illegible]	0,3	[illegible],[illegible]
0,4	0,5	2,7	0,4	1,[illegible]
0,4	1,0	2,[illegible]	0,1	1,[illegible]
0,2	0,6	2,4	0,1	1,[illegible]

Serie [illegible] Vakuum (Lu[illegible] all [illegible])

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	10. [illegible]
[illegible] %	[illegible] %	0,5 %	0,3 %	0,6 %
0,5	0,2	3,2	1,9	2,2
10,1	[illegible]	21,0	19,2	13,0
24,0	17,5	28,5	30,0	23,0
28,3	[illegible]	30,0	39,5	24,5
26,2	[illegible]	40,0	40,2	39,2
29,2	[illegible]	34,8	36,0	25,5
31,2	[illegible]	32,0	39,2	31,4
31,0	[illegible]	32,1	40,3	32,0
28,0	[illegible]	25,8	30,0	27,6
27,7	[illegible]	[illegible],5	23,1	3,2
1,1	1,2	0,9	2,4	9,2
1,2	[illegible]	2,5	6,9	5,8
1,3	7,5	0,3	12,1	0,2
14,4	[illegible]	5,6	1,0	11,6
20,[illegible]	[illegible]	17,2	13,9	17,2
1[illegible]	[illegible],5	23,6	[illegible]1,5	16,0
1[illegible]	[illegible]	21,9	[illegible]1,2	16,0
2[illegible],0	[illegible]	2[illegible],0	[illegible]1,5	8,4
1[illegible],1	[illegible]	20,0	22,0	2,2
17,0	[illegible]	1[illegible],4	17,2	2,0
[illegible],1	[illegible]	[illegible],2	17,0	0,6
[illegible]	[illegible]	0,5	11,0	0,1
[illegible],4	[illegible]	0,2	1,5	0,2
[illegible]	[illegible]	0,4	0,5	0,2
1,1	[illegible]	[illegible],6	0,3	0,2
[illegible]	[illegible]	1,4	0,5	0,1
[illegible]	[illegible]	1,2	1,6	[illegible],3
[illegible]	[illegible]	1,5	2,8	[illegible],9
[illegible]	[illegible]	[illegible],6	6,[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	1,8	3,2	[illegible]
[illegible],4	[illegible]	1,2	1,[illegible]	[illegible],2
[illegible],1	[illegible]	0,4	1,[illegible]	[illegible],2
[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]

Serie [illegible]: D[illegible]USSA, DEGUVES[illegible] (Lunkerbefall in %)

1. Schliff	2. Schliff	3. Schliff	4. Schliff	5. Schliff
[illegible] %	13,2 %	5,6 %	16,[illegible] %	4,0 %
[illegible]	15,1	1,8	23,[illegible]	1,9
[illegible]	[illegible],1	2,2	13,8	1,[illegible]
[illegible]	21,0	2,2	27,[illegible]	[illegible]
[illegible]	8,9	6,3	13,1	14,5
[illegible],1	12,1	11,1	14,0	25,2
[illegible]	15,9	9,0	9,8	1[illegible],1
[illegible]	[illegible],0	7,2	16,0	24,[illegible]
[illegible],1	2,1	12,2	11,7	25,1
1,[illegible]	1,9	5,1	7,9	2[illegible],6
1,[illegible]	1,4	7,2	1,[illegible]	[illegible]4,0
[illegible]	1,2	2,0	2,1	11,5
2,[illegible]	1,0	2,1	0,[illegible]	10,1
1,9	0,9	1,2	0,9	7,5
1,[illegible]	1,1	2,2	1,0	[illegible],2
1,[illegible]	1,2	2,3	1,1	9,4
[illegible]	1,3	1,8	1,8	[illegible],1
[illegible]	2,1	1,7	2,0	1,9
[illegible],9	2,9	1,2	3,8	1,1
[illegible]	2,0	1,0	1,0	0,9
[illegible]	[illegible],6	1,4	4,8	1,4
[illegible]	[illegible],9	2,2	3,0	[illegible],0
5,[illegible]	4,6	1,4	2,1	1,1
17,[illegible]	5,0	2,1	1,[illegible]	0,6
2,[illegible]	2,8	0,7	1,4	[illegible],8
1,[illegible]	[illegible],1	1,2	0,9	2,1
1,0	2,6	1,1	1,1	1,[illegible]
1,[illegible]	[illegible],1	2,0	1,2	[illegible],3
[illegible],1	1,6	1,0	0,9	[illegible],4
1,1	1,1	0,9	1,0	[illegible],6
[illegible]	1,9	2,1	1,0	0,4
1,[illegible]	1,0	2,1	1,[illegible]	1,[illegible]
[illegible]	[illegible],1	1,9	0,[illegible]	[illegible],0
1,[illegible]	1,0	1,1	1,[illegible]	1,0

- 72 -

Serie III.: DEGUSSA, DEGUVEST HFG (Lunkerbefall in %)

6. Schliff	7. Schliff	8. Schliff	9. Schliff	10. Schliff
4,4 %	1[illegible],9 %	4,6 %	8,6 %	5,0 %
3,0	14,2	9,2	2,2	28,2
3,2	22,1	14,0	9,4	28,0
2,1	12,1	14,5	10,[illegible]	27,6
10,2	14,5	[illegible],2	16,[illegible]	16,2
8,2	15,8	16,1	4,[illegible]	12,0
12,3	5,5	9,0	5,9	16,1
14,0	5,[illegible]	[illegible],2	2,[illegible]	7,2
8,2	2,[illegible]	6,3	2,4	7,8
27,0	2,1	7,2	1,2	19,4
4,9	2,3	4,2	1,4	2,8
2,8	5,[illegible]	3,8	2,[illegible]	0,6
2,2	7,[illegible]	2,8	1,[illegible]	0,9
3,0	6,[illegible]	1,8	1,0	1,8
3,2	[illegible],2	[illegible],7	0,[illegible]	1,6
2,1	5,4	[illegible],8	0,6	1,0
2,9	[illegible]	[illegible],9	1,0	1,8
2,1	2,[illegible]	[illegible],6	1,[illegible]	1,9
3,2	1,[illegible]	[illegible],8	1,[illegible]	1,2
2,2	1,[illegible]	1,9	1,[illegible]	1,7
3,8	[illegible]	1,9	2,[illegible]	1,9
2,1	[illegible]	[illegible]	1,[illegible]	1,5
0,9	1,[illegible]	[illegible]	2,[illegible]	2,0
1,4	[illegible]	[illegible]	3,2	2,0
3,0	1,[illegible]	[illegible]	1,[illegible]	2,1
3,8	1,[illegible]	[illegible]	1,[illegible]	[illegible],2
1,8	1,[illegible]	[illegible]	2,[illegible]	1,9
2,9	[illegible]	[illegible]	0,[illegible]	1,2
2,2	1,[illegible]	[illegible]	1,[illegible]	0,8
3,6	1,[illegible]	[illegible]	1,[illegible]	1,2
3,6	[illegible]	[illegible]	0,[illegible]	1,[illegible]
3,6	[illegible]	2,1	0,[illegible]	1,[illegible]
6,8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1,0
3,0	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1,1
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Serie IV.: DEGUSSA, BEAUTY CAST (Lunkerbefall in %)

1. Schliff	2. Schliff	3. Schliff	4. Schliff	5. Schliff
0,4 %	0,2 %	0,2 %	0,4 %	0,[illegible] %
6,2	3,8	7,2	3,[illegible]	4,[illegible]
9,4	7,9	10,9	8,9	7,6
16,5	13,0	12,1	20,5	1[illegible],6
26,8	18,8	21,2	31,0	23,2
25,0	25,0	23,2	34,2	20,4
20,1	40,0	27,0	34,0	27,[illegible]
22,0	27,4	24,4	27,0	21,4
20,7	39,8	35,9	26,[illegible]	2[illegible],0
12,8	40,1	[illegible],8	40,[illegible]	2[illegible],0
2,2	54,[illegible]	[illegible],8	31,[illegible]	1[illegible],
0,2	2[illegible],3	1[illegible],0	0,4	[illegible],
3,2	1,3	,4	0,[illegible]	0,7
4,3	0,4	1,0	0,[illegible]	[illegible],
20,6	17,[illegible]	,2	3,[illegible]	,
2,5	1,9	0,2	9,[illegible]	0,[illegible]
0,2	18,[illegible]	4,8	0,4	[illegible]
0,8	5,[illegible]	4,2	8,[illegible]	[illegible],
1,6	2,5	3,2	6,2	1,[illegible]
0,8	4,9	1,4	5,[illegible]	[illegible],
1,9	4,5	0,2	5,4	5,4
0,6	1,4	0,2	1,[illegible]	[illegible],
0,7	0,9	0,7	0,4	0,2
0,3	0,2	0,2	0,[illegible]	[illegible],
0,4	0,2	0,2	0,2	0,1
0,6	0,3	0,2	0,3	[illegible],4
0,2	0,2	0,1	0,[illegible]	[illegible],3
0,4	0,4	0,1	0,3	0,9
0,4	1,5	0,4	1,4	0,2
0,5	0,[illegible]	1,2	0,[illegible]	[illegible],2
0,3	0,3	0,2	0,2	[illegible],7
0,2	0,6	0,4	0,4	[illegible],
0,2	0,4	0,3	0,[illegible]	[illegible],
0,2	1,8	0,2	1,[illegible]	[illegible],5
20,6	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

[illegible] IV.: DEGUSSA, BEAUTY CAST (Lunkerbefall in %)

6. [illegible]	7. [illegible]	[illegible]	9. [illegible]	[illegible]
0,2 %	0,[illegible]	[illegible],4	0, %	[illegible] %
0,6	0,[illegible]	[illegible],4	6,[illegible]	[illegible]
10,1	10,[illegible]	1[illegible],6	6,[illegible]	1[illegible]
16,0	1[illegible],[illegible]	2[illegible],5	12,[illegible]	1[illegible]
16,2	27,[illegible]	3[illegible],2	26,[illegible]	4[illegible]
41,8	24,[illegible]	2[illegible],5	19,[illegible]	4[illegible]
42,0	42,[illegible]	3[illegible],2	24,[illegible]	2[illegible]
41,5	40,[illegible]	4[illegible],0	17,[illegible]	3[illegible]
40,0	45,[illegible]	4[illegible],2	25,[illegible]	1[illegible]
40,5	56,[illegible]	4[illegible],5	19,4	1[illegible]
48,2	36,0	1[illegible],7	14,[illegible]	[illegible]
14,9	30,2	[illegible],5	5,[illegible]	[illegible]
1,0	5,6	17,6	16,[illegible]	1[illegible]
0,6	2,8	1[illegible],6	25,[illegible]	2[illegible]
11,2	16,0	[illegible],2	0,1	[illegible]
39,5	9,8	11,6	3,	1[illegible]
0,7	3,2	1[illegible],2	4,[illegible]	1[illegible]
6,2	19,6	1[illegible],0	3,	[illegible]
23,6	14,2	1[illegible],1	4,[illegible]	[illegible]
13,9	12,1	[illegible],7	4,[illegible]	[illegible]
7,2	2,6	1,8	2,[illegible]	[illegible]
8,6	2,1	1,2	0,[illegible]	[illegible]
4,5	0,8	[illegible],4	0,[illegible]	[illegible]
2,2	0,2	[illegible],2	0,[illegible]	
3,2	0,2	[illegible],2	0,1	
0,2	0,2	[illegible],2	0,[illegible]	
0,[illegible]	0,2	[illegible],2	0,	
0,4	1,0	[illegible],1	0,	
0,3	0,8	[illegible],2	0,[illegible]	
1,2	0,6	[illegible],8	0,[illegible]	
0,8	2,0	[illegible],3	0,	
0,7	1,3	[illegible],2	0,	
0,6	2,0	[illegible],3	0,	
0,2	0,4	[illegible],0	0,	

- 75 -

Serie V.: [illegible], DEGUVEST HFG mit Vakuum (Lunkerbefall in %)

1. Schliff	2. Schliff	3. Schliff	4. Schliff	5. Schliff
4,9 %	1,8 %	3,4 %	3,0 %	4,0 %
4,0	3,2	[illegible]	4,2	4,8
10,9	[illegible],8	[illegible]	5,2	4,9
[illegible]	3,2	[illegible]	12,1	15,6
[illegible]	3,1	[illegible]	18,5	21,0
[illegible]	3,2	[illegible]	16,2	18,1
[illegible]	3,0	[illegible]	17,6	11,[illegible]
[illegible]	[illegible],1	[illegible]	16,3	7,5
[illegible]	[illegible],4	[illegible]	6,8	6,2
4,[illegible]	[illegible],7	[illegible]	6,0	4,2
[illegible]	[illegible],2	[illegible]	8,9	4,0
[illegible]	[illegible],8	[illegible]	22,1	2,0
3,[illegible]	4,2	1,[illegible]	6,8	3,[illegible]
4,[illegible]	3,8	[illegible]	5,8	3,4
5,[illegible]	[illegible],1	[illegible]	5,6	3,2
4,[illegible]	4,6	[illegible],4	3,8	3,[illegible]
[illegible]	4,2	[illegible],1	3,9	4,6
[illegible]	0,9	3,1	3,[illegible]	4,2
[illegible]	5,8	4,0	3,8	5,4
[illegible]	3,8	[illegible]	3,2	3,6
[illegible]	[illegible],0	[illegible],1	3,4	3,9
[illegible]	1,6	[illegible]	2,8	2,0
7,[illegible]	1,4	[illegible]	1,8	2,[illegible]
[illegible]	[illegible],4	[illegible]	4,2	3,8
3,[illegible]	[illegible],8	[illegible]	3,8	3,6
4,1	3,2	[illegible]	3,2	3,8
4,1	[illegible],5	[illegible]	3,6	7,0
[illegible]	[illegible],8	[illegible]	[illegible],4	3,2
[illegible]	[illegible],0	[illegible]	4,0	3,1
4,1	[illegible],2	[illegible]	4,6	2,[illegible]
[illegible]	[illegible],6	[illegible]	[illegible],2	[illegible],8
[illegible]	1,8	[illegible]	[illegible],2	[illegible],1
[illegible]	[illegible],2	[illegible]	[illegible],6	[illegible]
[illegible],2	[illegible],4	1,[illegible]	[illegible],8	[illegible],2

Serie [illegible], DEGUVEST HFG mit Vakuum (Lunkerbefall in %)

6. Schliff	7. Schliff	8. Schliff	9. Schliff	10. Schliff
[illegible],9 %	[illegible]	[illegible] %	[illegible] %	[illegible]
[illegible],0	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
25,7	[illegible]	12,[illegible]	3,[illegible]	[illegible]
1[illegible],9	[illegible]	7,[illegible]	3,[illegible]	[illegible]
2[illegible],0	[illegible]	8,[illegible]	3,[illegible]	[illegible]
25,1	[illegible]	11,[illegible]	2,[illegible]	1[illegible]
2[illegible],0	[illegible]	[illegible],1	1,[illegible]	[illegible]
2[illegible],2	[illegible]	[illegible]	2,[illegible]	[illegible]
[illegible],9	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],7	[illegible]	[illegible]	2,[illegible]	[illegible]
[illegible],2	[illegible]	[illegible]	2,[illegible]	[illegible]
[illegible],0	[illegible]	[illegible]	2,6	[illegible]
[illegible],1	[illegible]	[illegible]	3,7	[illegible]
[illegible],5	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],4	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],0	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],9	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],2	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],0	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],0	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],4	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],6	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],2	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],0	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible],8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

	Lfde. Nr.	x_1	x_1	x_1	x_1	x_1
chnung der dardabweichungen	1	4,36	2,96	5,69	5,12	4,45
	2	3,17	3,74	4,46	8,17	2,89
	3	5,74	2,74	5,93	4,86	3,56
	4	7,26	3,77	2,88	5,62	5,50
	5	5,47	4,61	4,83	4,97	4,23
	6	6,27	4,21	7,33	9,47	5,14
	7	11,43	4,26	7,61	9,94	3,92
	8	5,26	3,47	7,48	7,15	4,12
	9	2,98	2,44	9,16	6,63	3,29
	10	6,80	4,38	5,38	6,46	4,34
uterung der bespaite (x+1)						
10 n_2= --						
ne von x (1) Σx		58,74	36,58	60,75	68,39	41,47
chnittswert (2) $\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n}$		5,874	3,65	6,075	6,839	4,147
ne von x uadrat (3) $(\Sigma x)^2$		3450,39	1332,00	3690,56	4677,19	1719,76
ne von x^2 (4) Σx^2		407,33	138,73	399,45	497,12	177,35
eilt darum (5) $\frac{(\Sigma x)^2}{n}$		345,03	133,20	369,05	467,71	171,97
derlib-gsquadrate (6) S_{xx} (4)-(5)		62,30	5,53	30,40	29,41	5,38
ianz (7) $s^2 = \frac{S_{xx}}{n-1}$		6,922	0,614	3,37	3,267	0,597
dard-ichung (8) $s = +\sqrt{s^2}$		2,631	0,784	1,836	1,807	0,773
rdabweichg. wertes (9) $s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$		0,831	0,250	0,580	0,571	0,244

Tabelle 6

[illegible]

Institut für Medizinische Statistik
und Dokumentation
der Universität Mainz

[illegible] I - II

[illegible] Eickhoff
Gerechnet: 1.7.1970
[illegible]
Geprüft:

Lfde Nr.	I X_1	II X_2	[illegible]
1	4,36	5,69	1,33
2	3,17	4,46	1,29
3	5,74	5,93	0,19
4	7,26	2,88	- 4,38
5	5,47	4,83	- 0,64
6	6,27	7,33	1,06
7	11,43	7,61	- 3,82
8	5,26	7,48	2,22
9	2,98	9,16	6,18
10	6,80	5,38	- 1,42

[illegible]	+ 0,963
[illegible] =	+ 0,209

[illegible]	+ 0,01
[illegible]	+ 0,201
[illegible]	+83,87
[illegible]	+ 0,404
[illegible]	+83,[illegible]

nicht signifikant

(p > 5%)

kein Unterschied zwischen dem Vakuumguß und dem Guß ohne Vakuum festzustellen

(6)

500/2665

Tabelle 7

t-Test bei paarweiser Anordnung

Institut für Medizinische Statistik
und Dokumentation
der Universität Mainz

Thema: [illegible]

Bearbeiter: Eickhoff
Gerechnet:
Datum: [illegible]
Geprüft:

Lfde. Nr.	I x_1	V x_2	$d = x_2 - x_1$
1	4,36	4,45	0,09
2	3,17	2,89	- 0,28
3	5,74	3,56	- 2,18
4	7,26	5,50	- 1,76
5	5,47	4,23	- 1,24
6	6,27	5,14	- 1,13
7	11,43	3,92	- 7,51
8	5,26	4,12	- 1,14
9	2,98	3,29	0,31
10	6,80	4,34	- 2,46

$n = \sqrt{\frac{S_{dd}}{n(n-1)}} =$	0,246
$t = \frac{\bar{d}}{S_{\bar{d}}} =$	- 7,032

$n =$ 10

1 Σd	- 17,30
2 $\bar{d} = \frac{\Sigma d}{n}$	- 1,73
3 Σd^2	74,594
4 $\frac{(\Sigma d)^2}{n}$	29,929
$S_{dd} = 3 - 4$	44,665

nur Unterschied im Guß=
verfahren festzustellen.
Keine Aussage über den
Vakuumguß!

Tabelle 8

Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation der Universität Mainz

Rangtest nach Wilcoxon für unverbundene Stichproben

	Serie: I I.		Serie: IV II		(Gruppe I - Gruppe mit geringerer Fallzahl
Fall Nr.	Meßwert	Rang	Meßwert	Rang	
	6	1	12	9	
	6	[illegible]	16	14,5	
	13	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
	16	14,5	[illegible]	[illegible]	
	9	4	17	[illegible]	
	13	9	14	12	
	20	19,5	[illegible]	[illegible]	
	15	12	19	[illegible]	
	6	3	18	[illegible]	
	15	12	15	[illegible]	
					n_1 Zahl der Fälle der I. Gruppe
					n_2 Zahl der Fälle der II. Gruppe
					1
Summe der Rangnummern R_1 von Gruppe I (1)		$S_1 = 86$	Summe der Rangnummern R_2 von Gruppe II (2)	$S_2 = 114$	(71-139)

Tabelle 9

Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation der Universität Mainz

2. Rangtest nach Wilcoxon für unverbundene Stichproben

Fall Nr.	Serie: V I Meßwert	Rang	Serie: III II Meßwert	Rang
	3	9,5	2	6,5
	0	1	6	15
	1	5	5	9,5
	6	15	8	19
	4	12	9	20
	6	15	6	15
	0	1	6	15
	[illegible]	6,5	3	9,5
	0	3	3	9,5
	1	4	7	18
Summe der Rangnummern R_1 von Gruppe I (n)		$S_1 = 73$	Summe der Rangnummern R_2 von Gruppe II (6)	$S_2 = 137$

(Gruppe I - Gruppe mit geringerer Fallzahl

n_1 Zahl der Fälle der I. Gruppe
n_2 Zahl der Fälle der II. Gruppe

1,

(71-139)

.. Anderson, G.D. — Vakuumeinrichtung an einer Schleudergußmaschine für zahnärztliche Zwecke; US-Patent: P1271321.2-24 vom 14. Okt. 1965 Gießerei, 463 (1968)

.. Asgars, Mahler, Peyton — Hygroscopic technique for Inlay casting using controlled water additions J. prosth. Dent., 711 (1955)

. Beek, K.H. — Prüfungsergebnisse zahnärztlicher Gußverfahren und ihre praktische Auswertung Dtsch. zahnärztl. Z. 8, 480 (1958)

4 Bonsack, Ch. — Der heutige Stand des Gußproblems Dtsch. zahnärztl. Z. 8, [illegible] (1953)

. Degussa-Brief — Wie bekommt man dichte, lunkerfreie Güsse? Nr. 22, (1954)

Documenta Geigy — Wissenschaftliche Tabellen J.R. Geigy AG, Basel 1962, S. [illegible]

. [illegible] — as Problem zur Herstellung exakter Goldgußfüllungen Correspondenzblatt für Zahnärzte 52, 516 (1928)

8. [illegible] — Das Volumendefizit bei der Erstarrung metallischer Schmelzen Z. für Metallkunde 56, 327 (1965)

. [illegible] — Der Einfluß der Gußapparate auf die Qualität des zahnärztlichen Gusses Med. Diss., Mainz 1967

. [illegible] — Über die Entwicklung des Metallgußverfahrens in der Zahnheilkunde Dtsch. zahnärztl. Wschr. 44, [illegible] (1[illegible])

11. [illegible] — Der Goldguß in der zahnärztlichen [illegible] Dtsch. zahnärztl. Wschr. 30, 710, 714 (1933)

12. Hihl, O. — Verfahren zur Prüfung der mechanisch-physikalischen Eigenschaften verdichteter Giessereisande
Sonderdruck aus dem Schweizer Maschinenmarkt 8, 6 (1969)

13. Hoffmann, F. — Technologie der Gießereiformstoffe
Sonderdruck der Georg Fischer AG Schweiz
Schaffhausen 1966, S. 102

14. Hollenback, G.M. Skinner, E.W. — Shrinkage during casting of gold alloys
J.Amer.dent.Ass. 33, 1390 (1946)

15. Jungbluth, H. — Aus Wissenschaft und Praxis des Gießereiwesens
Gießerei-Verlag, Düsseldorf 1955
S. 334, 336, 340, 341

16. Klohe, F.J. — Experimentelle Untersuchungen der Auswirkungen von Super Setting auf die Erstarrungszeit, die Kugeldruckhärte, die Druckfestigkeit und die Luftdurchlässigkeit von verschiedenen zahnärztlichen Einbettmassen
Med. Diss. Mainz 1967

17. Knappwost, A. — Über das thermische Expansions- und Kontraktionsverhalten von Dentallegierungen und deren Beziehung [illegible]
Zahnärztl. Welt 4, 523 (1949)

18. [illegible] — Über Schwinden und Lunkern
Gießerei, Technisch-Wissenschaftliche Beihefte 6/8, 353 (1952)

[illegible] — Die Erstarrungsgleichung von Sandguß
Gießerei, Technisch-Wissenschaftliche Beihefte 28, 1537, 1540 (1960)

20. Kümmerle, K. Patterson, W. — Über den Einfluß des Erstarrungsverhaltens auf die Lunkerbildung der Metalle
Gießerei, Technisch-Wissenschaftliche Beihefte 26, 1403, 1425 (1959)

1. Kysela, B.
Kyselova, J.
Mares, J.
Der Einfluß der Gußapparate auf das Vorkommen der Defekte in Dentalgüssen
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 69, 403 (1959)

22. Kysela, B.
Kyselova, J.
Mares, J.
Kontraktionsdefekte der Metallgüsse und Möglichkeiten ihrer Beseitigung
Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 1310 (1958)

23. Loebich, O.
Der Lunker und seine Vermeidung
Dtsch. zahnärztl. Z. 18, 1037 (1953)

[illegible]
Über das Gießen unter Vakuum
Gießerei, Technisch-Wissenschaftliche Beihefte 10, 485, 486 (1953)

[illegible]
Über den Einfluß des Gußverfahrens auf die Poren- und Lunkerbildung
Dtsch. zahnärztl. Z. 10, 1228 (1967)

[illegible]
Genaugußverfahren mit Gipsformstoffen
Foundry Trade Journal 120, 475, 478 ([illegible])

[illegible]
Porenfreier Goldguß
Die Quintessenz 4, III/1399 (1960)

[illegible]
Untersuchungen über eine neue Einbettmasse für den Guß hochschmelzender Legierungen
[illegible]

[illegible] Scheffler, K.
[illegible]
[illegible] Rdsch. 2, 67 (1932)

[illegible]
Über Fragen des Goldgußverfahrens
Zahnärztl. Rdsch. 11, 452 (1930)

[illegible]
Metallographie
Leipzig 1962, S. 256

[illegible]
Vakuumdruckguß
Gießerei 9, 235 (1960)

[illegible]. Wagner, E. Metallkundliche Betrachtung des Gießens von Goldlegierungen Zahnärztl. Prax. 17, 201 (1958)

[illegible]4. Wassermann, G. Vorgänge beim Erstarren Werkstoff-Handbuch Nichteisenmetalle VDI-Verlag, Düsseldorf 1960, [illegible]

[illegible]. Weber, E. Grundriß der biologischen Statistik G. Fischer, Stuttgart 1967, S. 229, 244-250

36. Weikart, P. Werkstoffkunde für Zahnärzte Carl Hanser Verlag, München 1966, S. 71, 225

[illegible]7. Voss, R. Zu speziellen Fragen der Gußtechnik Dtsch. zahnärztl. Z. 22,1226 (1967)

[illegible]. Zajonczkowski, J. Versuch, die Gesetzmäßigkeit für die Gasdurchlässigkeit von zahnärztlichen Einbettmassen zu finden Med. Diss. Erlangen 1949

Herrn Professor Dr. H. Harx danke ich
für die Überlassung des Themas und sein
Entgegenkommen, mich bei dieser Arbeit
zu unterstützen.

L E B E N S L A U F

Ich, Joachim Eickhoff, wurde am 23. Januar 1943 in Saarbrücken geboren als Sohn des Diplomingenieurs Heinz Eickhoff und seiner Ehefrau Lydia, geborene Poredda. Im Frühjahr 1964 legte ich meine Reifeprüfung am Städtischen Knaben-Realgymnasium in Saarbrücken ab. Im Sommersemester 1964 begann ich mein zahnmedizinisches Studium in Köln. Wegen Arbeitsplatzmangel wechselte ich im Wintersemester 1964 über zur Universität Mainz. Im April 1967 legte ich dort die zahnärztliche Vorprüfung ab. Nach weiteren fünf klinischen Semestern bestand ich im Dezember 1969 die zahnärztliche Prüfung.

Nach meinem Examen studierte ich Kunstgeschichte und Archäologie bis zu meiner Einberufung zur Bundeswehr im Oktober 1970.

Zur Zeit übe ich meinen Beruf als Wehrpflichtiger für 18 Monate bei der Bundeswehr aus.

Für die Bereitstellung der Edelmetalle und für die Herstellung von zwei Ätzbildern sei der Firma DEGUSSA auch an dieser Stelle gedankt.

Die Firma RÖCHLING'SCHE EISEN- und STAHLWERKE G.m.b.H. in Völklingen/Saar stellte in großzügiger Weise den QUANTIMET, die Schnelleinbettpresse, die Grob- und Feinschleifmaschinen sowie die Poliermaschine zur Verfügung und war bei der Herstellung der Photos behilflich. Auch an dieser Stelle sei der Firma und den Herren Prof. Dr. W. PETER, Dipl.Ing. W. POHL und Dr. E. KOHLHAAS gedankt.

Für die Bereitstellung des Gasdurchlässigkeits-Prüfapparates, Type PDU, von der Firma GEORG FISCHER AG in Schaffhausen/Schweiz sei der Firma HALBERGERHÜTTE G.m.b.H. in Brebach-Fechingen/Saar gedankt.